
FONDO-PIZZOFALCONE



THÉORIE
DE
L'ART DU MINEUR.

THÉORIE
DE
L'ART DU MINEUR;

PAR

M. J. M. GEUSS,

Professeur de Mathématiques en l'Université de Copenhague.

TRADUITE DE L'ALLEMAND

PAR

M. A. L. SMEETS,

Capitaine au Régiment des Mineurs & Sappeurs au Service des Provinces-Unies.



A MAESTRICHT,

Chez JEAN-EDME DUFOUR & PHILIPPE ROUX, Imprimeurs-Libraires, associés.

M. DCC. LXXVIII.





A

MONSIEUR
C. DU MOULIN,

Général-Major d'Infanterie, Directeur-Général des Fortifications, Colonel du Régiment des Mineurs & Sappeurs au Service de LL. HH. PP., Commandant du Château de Namur, &c. &c. &c.

MONSIEUR,

PERSUADÉ que la sûreté de l'Etat exige que l'Ingénieur & le Mi-

neur ſoient ſuffiſamment au fait de la Science des Mines; parce que la Fortification ſouterreine eſt celle qui répond le mieux à ſon but, en ce qu'elle eſt la moins diſpendieuſe, qu'elle peut fournir à une défenſe opiniâtre contre des ennemis très-ſupérieurs en nombre, & que par ſa nature elle ſe ſouſtrait à la groſſe artillerie des Aſſiégeants, Vous avez porté, **MONSIEUR,** *toute votre attention ſur ce point important; & animé par un patriotiſme éclairé, vous avez ſu nous ménager les occaſions de nous inſtruire dans cette Science, & de nous exercer dans ſa pratique.*

Comme la connoiſſance raiſonnée de cette partie de la Science militaire eſt d'une abſolue néceſſité, afin d'en pou-

*voir faire une application judicieuse dans le besoin, j'ai jugé, MONSIEUR, que la traduction du Traité Allemand sur l'*Art du Mineur *que j'ai l'honneur de vous offrir, seroit propre à faciliter l'étude d'une Science si nécessaire, & à la rendre plus universelle; puisque les principes y sont développés avec clarté & avec méthode, qu'il expose toutes les théories qui ont existé jusqu'ici sur les Mines, & qu'il en contient une nouvelle qui est recommandable par sa simplicité.*

J'ai lieu de me flatter, MONSIEUR, que vous daignerez agréer mes efforts, & la liberté que j'ose prendre; puisqu'en publiant cette Traduction, je me suis proposé de me rendre utile, & d'agir conformément

à vos vues ; & qu'en vous l'adressant, j'ai voulu donner une marque publique de mon zele, ainsi que du profond respect avec lequel j'ai l'honneur de me dire,

MONSIEUR,

Votre très-humble & très-obéissant serviteur
A. L. SMEETS.

PRÉFACE DE L'AUTEUR.

Il est néceſſaire de compoſer de nouveaux Eléments d'une Science, lorſqu'à force de l'avoir étendue par la multitude des Ouvrages écrits ſur chaque objet en particulier, on lui a donné, pour ainſi dire, une forme différente de celle qu'elle avoit auparavant; c'eſt ce dont les juges les plus ſéveres ne ſauroient diſconvenir. La Science des Mines ſe trouve en quelque ſorte dans ce cas. Elle a conſervé pendant bien du temps avec l'Artillerie une place diſtinguée parmi les parties techniques des Mathématiques mixtes, & juſqu'à préſent elle n'a point paru, ſoit ici, ſoit dans les Livres deſtinés expreſſément à l'inſtruction de l'Artillerie, ſous une face qui ne la déparât pas auprès de celle-ci. Cependant elle n'a pas été entiérement négligée; il ſe trouve en effet bien des écrits récommandables, tant de Mathématiciens que d'Ingénieurs, qui, ſi l'on en formoit

un ensemble systématique, pourroient représenter cette Science sous un point de vue favorable, indépendamment des découvertes qui restent encore à faire.

Comme je me suis proposé ce but dans les Eléments de l'*Art du Mineur*, j'oserois, par cette raison seule, m'en promettre un accueil assez gracieux, parce qu'il devient de jour en jour plus nécessaire, vu l'accroissement continuel des Mathématiques, de recueillir l'essentiel de plusieurs écrits dans peu de volumes. Cependant je souhaiterois bien, par rapport à cette partie théorique, qu'on daignât ne pas m'envisager comme un simple rédacteur ; il ne faut pour cela que des mains & des bons yeux. Du moins, je crois que la Théorie de M. BELIDOR que j'ai mise pour base, ne peut jamais être bien appliquée, sans le développement que j'ai tâché d'en faire dans les Sections V, VI & VII, & qu'elle le sera certainement, par la voie que j'ai prise, dès qu'elle sera parfaitement connue par les épreuves que j'ai proposées, & qui man-

quent jusqu'ici. Il me tarde d'apprendre par le jugement équitable de mes Lecteurs & de mes Critiques, à quel point j'ai réussi.

J'ai fidélement indiqué dans un Appendice, les secours dont j'ai profité pour perfectionner cette premiere Partie, & dont je me servirai encore pour la seconde. M. YPEY, Professeur à Franequer, a, autant que je sache, fait imprimer parmi les écrits de la Société Hollandoise des Sciences, un Mémoire sur la *Théorie des Mines;* mais il ne m'est jamais parvenu (*). Par une critique (**) des *Instructions Physico-Méchaniques* que M. d'ANTONI, Directeur à Turin, à récemment publiées à l'usage de l'Artillerie, je

(*) M. YPEY n'a jusqu'ici rien mis au jour par rapport aux mines; nous l'assurons d'après son autorité: mais on a des productions sorties de sa plume, sur des sujets non moins intéressants, qui donnent un nouveau relief à la Science militaire. On a jugé nécessaire de détromper l'Auteur & le Public, & de rendre justice à la vérité. *Note du Traducteur.*

(**) *Gottingische Anzeigen*, *année* 1775, *partie* 143, *page* 1231.

vois que l'Auteur, qui s'eſt avantageuſement fait connoître par l'*Examen de la Poudre*, a traité la Théorie des Mines dans ſon *Hydrodynamique*. Comme il l'ajoute à la doctrine de l'épaiſſeur des vaiſſeaux qui doivent réſiſter à la preſſion des liqueurs qu'ils contiennent, je préſume qu'il a pris la route que je propoſe dans la Ve. Section du ſecond Chapitre; mais que je n'ai pas priſe moi-même, en préférant de me fonder ſur des expériences. Si le haſard a voulu que je me ſois quelquefois rencontré avec ces Savants, cela ſera plus flatteur pour moi que propre à m'inſpirer la reconnoiſſance que je leur devrois, au cas que j'euſſe été à portée de profiter de leurs lumieres.

J'eſpere que les perſonnes ſenſées ne me reprocheront pas le défaut d'expériences qui m'appartiennent en propre. Si d'entre ceux qui s'occupent des Sciences phyſico-mathématiques, & qui doivent partager leurs heures entre le cabinet & l'auditoire, on excepte les Aſtronomes & les Opticiens, qui pourra toujours en appeller dans ſes écrits à ſes propres expériences?

& ce ſont pourtant le plus ſouvent de tels hommes qui ont rendu ces Sciences ce qu'elles ſont aujourd'hui, ſavoir, le plus ſûr guide dans toutes les affaires de cette vie. Quant à moi, j'ai été charmé de trouver pour mon propre uſage, des expériences déja faites, & je me flatte que mes Lecteurs qui ne pourroient en attendre d'autres de ma part, ſe contenteront de mon travail, juſqu'à ce que quelqu'un les ſatisfaſſe, en juſtifiant entiérement par des exemples, les idées qui me ſont particulieres.

Enfin, ſi quelques-uns étoient d'avis que l'*Art du Mineur*, qu'ils traitent peut-être de ſimple métier, puiſſe ſe paſſer d'une Théorie particuliere, je dois les renvoyer aux Journaux des Sieges, où les exemples ne ſont point rares que les mines employées contre les aſſiégés, ont même coûté la vie à des centaines d'aſſiégeants; & je dois les prier d'indiquer un autre moyen aſſuré, d'arrêter ces ravages qui ſont contraires à toute humanité : ſi pourtant, comme la choſe eſt indubitable, cela ne peut avoir lieu que par une Théorie bien établie,

j'ose espérer qu'ils ne blâmeront pas mes efforts, dont je me croirai amplement dédommagé, s'ils peuvent servir à conserver la vie à un individu quelconque d'un Etat belligérant.

Copenhague, au mois de Mars 1776.

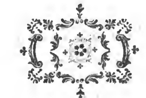


TABLE DES MATIERES.

SECTION I.

SECTION II.

SECTION III.

SECTION IV.

SECTION V.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

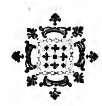
CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

SECTION. VI.

SECTION VII.

APPENDICE.



L'ART



L'ART DU MINEUR.

SECTION I.

Idée générale des Mines & de l'Art du Mineur.

§. 1.

QUAND il s'agit des Mines dans la guerre des sieges & la science des retranchements, on entend par-là une quantité de poudre mise sous terre, qui, après s'être enflammée, peut rompre la surface la plus voisine, & faire l'ouverture d'un ouvrage, soit de terre ou de maçonnerie. Si la poudre est placée à plus de

dix pieds fous la furface la plus voifine, on employe le terme de *mine;* mais fi elle a une moindre profondeur, on la nomme *fougaffe.* Si au-lieu de jouer vers une furface expofée au grand air, la mine fait fon effet dans un fouterrein, on l'appelle *camouflet.* On fe fert de ces dénominations, tant pour les mines qui font chargées, que pour celles qui ne le font pas; mais dans ce dernier cas, on préfere de leur donner le nom déterminé de *fourneaux.*

§. 2.

Si à l'attaque & à la défenfe des Places, deux armées ennemies fe fervent de mines l'une contre l'autre, on nomme celles des affiégeants, *mines,* & celles des affiégés, *contre-mines.* Selon la remarque de M. LE FEBVRE, on devroit, conformément à la nature des chofes, fe fervir de ces termes dans un fens oppofé; ce qui eft très-jufte par rapport à l'état actuel de l'Art du Mineur, puifqu'il faut attaquer & ruiner les contre-mines des affiégés par des mines: mais fi l'on réfléchit fur l'hiftoire des mines, on s'apperçoit que le nom de contre-mine y eft fondé, puifqu'on ne fongea aux contremines que pour fe mettre en fûreté contre les mines des affiégeants. Les mines par lefquel-

les on attaque aujourd'hui les contre-mines, & par lesquelles on creve leurs galeries, s'appellent *des globes de compression.*

§. 3.

Si, de la part des assiégeants, on construit une mine, le Mineur s'enfouit directement en-avant dans l'intérieur d'un rempart, parapet ou revêtement, en formant *l'œil de mine;* ou bien il creuse horisontalement dans le sol un puits quarré, à-peu-près de la profondeur qu'il veut placer son fourneau. Ensuite il pousse vers le côté que lui indique l'Officier des Mineurs qui conduit son travail, une galerie à telle distance, qu'enfin il se trouve directement sous l'endroit qu'il doit faire sauter par la mine. Pour placer le fourneau à une profondeur convenable sous l'endroit qu'il s'agit de faire sauter, la galerie doit souvent descendre; quelquefois, mais plus rarement il faut la faire monter. L'un & l'autre peut se faire, si l'on incline le fond de la galerie vers l'horison, ou bien si l'on fait de distance en distance des descentes par des degrés; c'est dans ce cas que la galerie prend le nom de *cascade.* Quand le Mineur a enfin atteint l'endroit qu'il cherche, & se trouve dessous à la profondeur re-

quiſe, il fait un retour en angle droit, & au-dedans de celui-ci une excavation aſſez ſpacieuſe pour le fourneau de la mine, qui ſe forme le plus ſouvent en approfondiſſant la galerie : il y met le *coffre*, qui contient la poudre deſtinée à la charge, en fermant la chambre, & bourrant ſoigneuſement la galerie juſqu'à une certaine diſtance. Pour allumer la poudre enterrée de la ſorte, il conduit du milieu de la chambre, juſqu'à l'œil de la mine, ou plus loin s'il le faut, un boudin ou *ſauciſſon* rempli de poudre, qu'il met dans un conduit de bois ou *auget*, afin de n'être pas foulée, & pour être à couvert de l'humidité. L'endroit ou le ſauciſſon finit, & où le feu ſe met au moyen d'une mêche, d'une traînée, ou par le *moine*, s'appelle *foyer* ou *lumiere*.

§. 4.

D'ordinaire, on conſtruit les galeries des contre-mines dans le même temps que la forteresſe : quelquefois peu avant le ſiege, qui eſt à craindre. Delà s'enſuit que leur diſtribution eſt fort différente, quoiqu'elle ſe détermine encore par d'autres circonſtances. Nous allons décrire en abregé une conſtruction des plus completes des contre-mines, en inſinuant tout de ſuite ce qu'on peut en ſupprimer ſe-

lon l'exigence des cas. Pour une Place parfaitement contre-minée, on conſtruit trois galeries ſous les ouvrages : la premiere ſous le rempart du corps de la Place, plus ou moins proche du revêtement, qu'on appelle la *galerie magiſtrale*, puiſquelle eſt dirigée comme la ligne de ce nom : la ſeconde, ſous le chemin couvert, le plus ſouvent près du revêtement de la contreſcarpe, lequel on perce de créneaux; quelquefois ſous la crête du glacis ; on l'appelle *galerie meurtriere* ou de *premiere enveloppe* ; enfin, la troiſieme ou la *galerie d'enveloppe*, à l'endroit où le glacis ſe perd dans la campagne. Entre ces galeries principales, on conſtruit autant de *galeries de communication* qu'il en faut indiſpenſablement, obſervant néanmoins qu'il s'en trouve plus entre la ſeconde & la troiſieme galerie qu'entre la premiere & la ſeconde. Dans les baſtions & demi-lunes, on conſtruit les *galeries capitales* qui ſuivent la ligne de ce nom, & qui ſont croiſées par une ou pluſieurs *galeries tranſverſales* à angles droits. Elles ſont toutes ſéparées de la galerie magiſtrale, afin que la perte de cette galerie n'entraîne point celle des autres.

§. 5.

De la galerie d'enveloppe ſortent les *gale-*

ries d'écoute dans la campagne, à-peu-près de la longueur que le glacis eſt large, ou même au-delà; elles ſe terminent par des puits, afin de pouvoir aller encore plus avant dans un ſiege, par de petites galeries ou *rameaux* à différentes profondeurs. On part des écoutes ſur les deux côtés, s'il le faut, de même qu'en débouchant de la galerie d'enveloppe & de la meurtriere on va en-avant par des rameaux au bout deſquels on place les fourneaux néceſſaires. En général, ces rameaux qu'on perce ſeulement lors d'un ſiege, ne ſont coffrés & ſoutenus que par des bois de charpente; au-lieu que les galeries conſtruites d'avance, ſont miſes en maçonnerie & ſoutenues par des voûtes. Afin de n'avoir pas beſoin de percer les pieds droits de la galerie maçonnée, quand il faut pouſſer un rameau, on fait les débouchés qu'on juge à propos lors de la conſtruction de la galerie, & on les ferme d'un mur peu épais & facile à ôter lorſque le cas le demande. On les appelle *amorces* ou *lacunes*. Si enfin pluſieurs écoutes ſe rencontrent de maniere qu'elles entourent un certain eſpace, & qu'on puiſſe attaquer l'ennemi en front, de revers, & des côtés, lorſqu'il ſe trouve deſſus, voilà ce qu'on appelle *bonnet à prêtre*.

§. 6.

De toutes les galeries mentionnées, il manque le plus fréquemment aux Places contreminées la galerie d'enveloppe, quoiqu'elle foit prefque la plus importante. En effet, la plus grande utilité des contre-mines fe fait voir en ce qu'elles éloignent long-temps l'affiégeant du glacis; & elles n'y font pas propres, fi elles ne font pas pouffées à une diftance confidérable dans la campagne. Les écoutes qu'on fait partir de la meurtriere au défaut de l'enveloppe, ne fauroient le faire, puifqu'on ne les conduit que jufqu'au pied du glacis; & fi l'on vouloit aller plus loin, il leur manqueroit de la confiftance & du foutien. Dans bien des Places, on ne fait point de galerie magiftrale, en donnant ce nom, quoiqu'à tort, à celle qui refte, favoir la *meurtriere*. Enfin, on trouve des Places contre-minées, où toutes les galeries capitales manquent, & où l'on conftruit çà & là fur les angles faillants du glacis, & en quelques autres endroits de la contrefcarpe, des galeries d'écoute. On comprend qu'il y manque également les galeries tranfverfales, qui, au défaut d'une ou de plufieurs galeries capitales, font fuperflues.

§. 7.

Dans les galeries même, on fait différents préparatifs qui servent les uns à la défense, les autres à la commodité. Les *retraites* sont de la premiere espece. Ce sont des murs qui traversent la galerie, & qu'on garnit de portes de madriers, où l'on ménage des créneaux pour que le Mineur puisse se retirer derriere ces traverses, & défendre une partie de la galerie après que le Mineur ennemi y a pénétré, & qu'une partie en est déja perdue. Si l'on pratique de tels retranchements à l'endroit où quatre ou plus de galeries se joignent, on aura un ouvrage d'autant de côtés qu'il y a de galeries qui se croisent : par la ressemblance aux ouvrages supérieurs, on a accoutumé de le nommer *redoute* ou *guérite*. Les magasins pour les outils & matériaux, servent à la commodité ; on tâche de les placer également aux endroits où les galeries se rencontrent. Pour conserver les galeries à sec, on construit d'ordinaire des rigoles pour conduire les eaux dans le fossé ; mais dans le cas où les galeries descendent vers la campagne, & que cela ne peut point se pratiquer, on fait des puits où l'eau se décharge & se

perd dans la terre. Enfin, pour ſe procurer la circulation de l'air dans les galeries, on fait monter, en quelques endroits de la galerie, des ſoupiraux maçonnés qui gagnent la ſurface de la terre. Pour les mettre à l'abri de la pluie, on les couvre d'un toît.

§. 8.

Dans les fortifications de campagne, & dans les Places qui ont leurs foſſés remplis d'eau, on a coutume de pratiquer une eſpece de mines ou de fougaſſes qui ne demandent aucune galerie, mais qu'on doit conſtruire peu avant qu'on veuille en faire uſage, vu que ſans cela la poudre ſe mouilleroit dans les fourneaux. A l'endroit où l'on juge à propos de faire une contre-mine pareille, on creuſe un puits auſſi profond qu'on veut placer le fourneau, ou que le niveau de l'eau le permet. Au fond d'icelui, on pratique ſur le côté le fourneau, & on y fait entrer le coffre qui contient la charge de poudre; on prend les arrangements néceſſaires à pouvoir mettre le feu; on remplit le puits; on a ſoin de couvrir l'endroit où l'on a creuſé, par des gazons, & la mine ſera prête à jouer. Pour y mettre le feu dans un éloignement convenable, on conduit le ſauciſſon de la pro-

fondeur d'environ un pied sous terre dans l'auget, jusqu'à l'endroit qu'on peut choisir avec sûreté pour le foyer. Ordinairement on ne donne que le nom de *puits* à ces sortes de mines.

§. 9.

On est souvent obligé de faire sauter, à un endroit vivement attaqué, plusieurs mines l'une près de l'autre : dans ce cas, pour épargner le travail & les fraix, on construit au bout d'une seule galerie, au-lieu d'un fourneau ou *la mine directe*, plusieurs fourneaux ou *la mine feuillée*. On les charge toutes à la fois ; ce qui est d'autant plus nécessaire, que la galerie devient impraticable par le jeu d'une seule mine. Si l'on a attaché deux fourneaux à une galerie commune, on a ce que les Mineurs appellent *mine double ou figurée en* T. S'il y en a trois, c'est *la mine triple ou trefflée*. Au cas qu'elles devroient jouer séparément, il est évident qu'il leur faudroit un éloignement considérable, & qu'on seroit obligé de faire une attention singuliere aux différents saucissons, qu'on seroit forcé de conduire par la même galerie, afin que l'un ne communiquât pas le feu à l'autre, contre la vue du Mineur : mais les circonstances demandent plus souvent qu'on fasse jouer

ces mines à la fois; les remarques précédentes tombent alors, & en revanche, il faut prendre garde qu'aucune chambre ne prenne feu avant les autres. Pour cet effet, il faut coucher le sauciffon dans le rameau qui eft le plus près de la galerie commune, en maniere de zig-zag, afin qu'il ait la même longueur que celui du rameau le plus éloigné.; c'eft ce que les Mineurs nomment *le compaffement du feu.*

§. 10.

Lorfque la poudre s'eft allumée dans une chambre, & que la mine *joue* ou *faute*, il ne fe préfentera que quelques crevaffes à la furface fupérieure, ou bien il fe formera une ouverture. Dans le premier cas, la mine n'a pas été affez chargée, ou le col de la mine affez bourré; de forte que la force de la poudre s'eft échappée, ou que *la mine a foufflé dans la galerie.* Dans le dernier cas, elle a été chargée à propos. Si les débris de la mine retombent au-delà de 50 toifes à la ronde, on dit qu'elle a été *furchargée.* Tant les mines furchargées que celles qui le font trop peu, font cenfées défectueufes par les Mineurs praticiens. Nous montrerons dans la fuite fur quel fondement.

§. II.

L'ouverture qui se forme à la superficie (si la mine a été suffisamment chargée) par l'enlevement de *la gerbe de terre*, est appellée *l'excavation* ou *l'entonnoir*. La figure en est toujours conique, ou telle, que l'ouverture a plus de largeur à la surface supérieure qu'autour de la chambre. Pour se faire une idée de la grandeur de l'entonnoir, il en faut connoître, outre *le plus grand diametre*, ou celui du cercle que l'ouverture forme à la surface, *le plus petit diametre*, ou celui qui passe par le centre du fourneau, & enfin la ligne qui lie les centres de ces deux cercles paralleles, & qui par conséquent est perpendiculaire à la surface. On peut se représenter cette ligne, qu'on appelle *ligne de moindre résistance*, avant même que la mine ait joué, si l'on imagine une perpendiculaire tirée du centre du fourneau à la surface la plus voisine. Si cette surface répond au vrai horison, la ligne de moindre résistance y sera perpendiculaire ; & comme l'effet de la mine suit la direction de cette ligne, la mine agira verticalement en-haut. S'il en est autrement, & que la dite surface forme un angle avec celle de l'horison, la mine fera son effet sur les

côtés. La derniere eſpece a preſque ſeule lieu dans les Places fortifiées, puiſque le talus des remparts décline beaucoup, & le glacis toujours quelque peu de la ſurface horiſontale. Cependant on ne regarde comme telles que les mines faites au rempart, & celles ſous le glacis ſont regardées comme agiſſantes dans la direction verticale.

§. 12.

Il eſt naturel, par raport à cette derniere ſorte de mines, que la terre qui avoiſine la ligne de moindre réſiſtance, s'éleve preſque perpendiculairement, & qu'elle ne ſe diſperſe pas à l'entour comme celle qui ſe trouve plus ſur les côtés, mais qu'elle retombe dans l'entonnoir. Cette terre meurtrie, que les Mineurs appellent *terre folle*, fait que l'entonnoir ne paroît guere plus profond que la ligne de moindre réſiſtance eſt longue; mais ſi l'on ôte ces terres, on remarque une plus grande profondeur & de plus une toute autre figure d'entonnoir. En effet, on ſait que la terre remuée prend la forme conique dans une foſſe en guiſe d'entonnoir; & c'eſt cette forme qu'on obſerve dans l'entonnoir apparent, l'entonnoir réel ayant une figure bien différente : il ne faut

pas feulement qu'il foit autant plus profond que le fourneau a de profondeur par-deffous la ligne de moindre réfiftance, il eft auffi dans la nature que la poudre ait détaché quelque chofe des terres à l'entour & en-deffous du fourneau. Tout cela fait que la figure apparente de l'entonnoir, differe confidérablement de ce qu'elle eft en effet. Plufieurs opinions fe font formées fur la figure de l'entonnoir; il en fera parlé en fon lieu.

§. 13.

Les objets qu'on fe propofe par le moyen des mines, font fort nombreux. Elles fervent dans un fiege pour fe procurer un logement fur le glacis, pour faire une entrée fpacieufe à la face d'un ouvrage du corps de la Place ou d'un dehors, & pour renverfer l'un ou l'autre ouvrage qu'on ne fauroit emporter autrement. Le but des contre-mines, eft comme toute la défenfe d'une fortereffe d'aujourd'hui, d'arrêter l'ennemi auffi long-temps qu'il eft poffible, lorfqu'il s'avance vers le chemin-couvert, puifque la perte de celui-ci entraîne le plus fouvent la reddition de la Place à fa fuite. A ce but principal fe joint le but prochain de détruire les logements & les ouvrages de

l'affiégeant, même jufqu'au dernier inftant. On conçoit par le nom & l'explication des globes de compreffion, ce qu'on fe propofe par leur moyen; mais il paroît affez par l'application qu'on en a faite une ou deux fois tout au plus, qu'il leur manque encore cette perfection fans laquelle les contre-mines garderont la valeur prépondérante qu'elles ont eue jufqu'ici fur tout genre d'attaque. Par les fougaffes & les puits, on a principalement en vue de caufer de la terreur aux troupes qui s'avancent durant l'affaut. Ces petites mines font d'autant plus propres à cela, qu'elles ne forment guere de logement commode à l'ennemi, & entretiennent le foldat dans l'effroi, occafionné ordinairement par les mines. De-là vient auffi qu'on s'en fert préférablement dans la fortification de campagne, où tous les retranchements doivent être pris d'affaut.

§. 14.

Par les idées générales qu'on vient de donner des mines, on voit en gros de quoi il s'agit, quant à leur conftruction & leur ufage. La fcience qui enfeigne cela felon des principes, fe nomme *la Science des Mines*. Comme l'application des mines a principalement lieu dans

la guerre des fieges, la fcience en eft fubordonnée à cette partie de l'Art de la guerre : & quelqu'acceffoire qu'elle paroiffe, elle eft affez d'importance pour être traitée en particulier comme fcience capitale. La défenfe des Places, & l'affurance de leur conquête, dans les circonftances actuelles de la guerre des fieges, dépendent entièrement d'elle feule. Tous les Ingénieurs modernes l'avouent à l'honneur des mines; & que ne s'en enfuit-il pas pour l'importance de cette fcience, puifque la fûreté des Etats entiers porte fur les forterefles ? De peur de devenir un panégyrifte fufpect de la fcience que j'ai deffein de traiter, je ne veux rien ajouter de plus, fur-tout parce que j'ofe pofer comme une vérité de fait, que dès-à-préfent, ceux qui feront mes Lecteurs, n'auront pas de cette fcience une opinion inférieure à celle que j'en ai moi-même.

§. 15.

L'importance des mines, comparée à leur fcience, n'offre cependant qu'un afpect très-médiocre. On ne fauroit exactement prétendre une connoiffance détaillée de cette fcience, de celui qui conduit les ouvrages principaux dans un fiege, ou de l'Ingénieur; auffi

on

ne l'exige-t-on pas de lui. On l'a plutôt jointe à l'Artillerie, par la raison que tous deux, tant l'Artilleur que le Mineur, se servent de la même force motrice de la poudre, pour les effets qu'ils doivent faire produire. Assurément c'est une raison plus spécieuse que fondée, puisque, du reste, les fonctions du Mineur & de l'Artilleur different beaucoup. Quoi qu'il en soit, une telle combinaison peut subsister à volonté, & conformément à la coutume, sans en rendre de raison. La vérité est, que quiconque doit étudier la science des mines, ne laissera pas d'y rencontrer des difficultés, s'il veut suffisamment s'en instruire. Par la pratique seule, il n'ira pas loin; l'occasion en est rare en temps de paix, & l'application réelle des mines dépend de tant de circonstances particulieres, que la connoissance acquise par ce moyen restera toujours imparfaite. L'instruction par écrit, qui devroit suppléer à ce défaut, est sujette à non moins de difficulté. Il nous manque en général des informations completes; & celles que nous avons, s'écartent tant les unes des autres, qu'elles embarrassent ceux qui veulent apprendre, plutôt que de leur fournir des secours. Selon ces principes, un Traité complet de cette science, dans lequel cette instruction dispersée seroit rassem-

blée, devroit déja être bien reçu : mais il le feroit davantage, si la partie théorétique y étoit traitée de maniere que l'application des mines en devînt plus facile & plus étendue.

§. 16.

Si l'on ne considere que superficiellement ce qui est du ressort de l'Art du Mineur, il me semble qu'on peut tout rapporter à ces deux articles : la construction, & l'application des mines. D'après cette idée, une instruction sur la conduite des galeries, sur la construction des fourneaux, sur la charge des mines, & les précautions à prendre quand on en fait jouer, comme aussi une indication des endroits d'une Forteresse où l'on auroit à construire & à faire sauter des mines, selon chaque cas particulier; tout cela feroit à-peu-près le principal de ce qui devroit être traité ici : mais en vérité, une exposition pareille ne rendroit point du tout ce qui constitue ordinairement une science. Sans des idées de la maniere que la poudre agit en général, & dans les cas particuliers, lorsqu'elle est enfermée dans la terre, de même que de la grandeur de son action, de la maniere que celle-là se représente à la surface, selon la différente quantité de pou-

dre qu'on employe, & du fuccès d'une mine qui a joué, on n'ira qu'à tâtons en la conftruifant; & fans elles, le fimple Mineur, qui, par quelque expérience, a appris le tour du travail, pourroit tout exécuter fans inftruction, & fans l'aide du conducteur. Au-lieu que les confidérations précédentes fur lefquelles fe fonde la quantité de la charge dans chaque cas qui fe préfente, jointes à une connoiffance fuffifante de la force ou de la foibleffe de chaque efpece de fortereffe, fervent à diriger le travail du fimple Mineur, & à en fixer l'emploi : elles l'éclairent de la même maniere qu'une théorie raifonnée doit éclairer tout travail pratique. Voilà auffi pourquoi nous devrons faire précéder les deux parties principales de l'Art du Mineur dont il eft fait mention, d'une troifieme, fous le titre de *Théorie des Mines*.

§. 17.

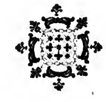
D'après ces réflexions, la fcience des mines contient trois parties principales, la Théorie, la Conftruction, & l'Application des mines. Les deux premieres, prifes enfemble, conftituent la partie méchanique; & la derniere, la partie militaire de cette fcience. Sous

un autre point de vue, l'on peut prendre une partie pour celle de la théorie, & les deux autres, prises ensemble, pour la partie pratique de l'Art du Mineur.

§. 18.

Nous nous sommes imposé, en général, la tâche de rapporter tout ce qui se rencontre de chaque matiere, autant que nous le savons, dans des Livres ou d'autres Mémoires qui sont venus à notre connoissance. Il importe de le déclarer ici, afin de prévenir les reproches qu'on pourroit nous faire. En effet, il est fort naturel que, conformément à ce dessein, nous nous voyions souvent contraints d'avancer des opinions d'autrui, qui sont déja rejettées, & que nous rejettons nous-mêmes. On dira que nous aurions pu les supprimer: mais nous croyons avoir remarqué, par rapport aux matieres que nous traitons ici, comme aux autres qui sont de leur affinité, qu'on se range plutôt du parti des anciennes que des nouvelles idées, & qu'on n'est que trop prévenu, même jusqu'à l'enthousiasme, en faveur des opinions & des procédés des siecles passés. Nous osons espérer de lever ce préjugé, par notre maniere de proposer les choses. Les anciennes opinions placées auprès de plus sains principes, tant de la théorie

que de l'application des mines, ſe montreront dans leur nudité, & on eſt fondé à croire qu'on s'en déſiſtera en les changeant contre les nouvelles. Cependant nous devons avouer qu'ici les fondements ne ſont pas encore partout ſi affermis, qu'on puiſſe d'abord y bâtir ſans regarder après d'autres regles qui pourroient s'en écarter : auſſi le plus ſûr, pour le préſent, ſera d'écouter un chacun, d'examiner les différents ſentiments, & puis de les adopter ou de les rejetter.



SECTION II.

Des premieres Mines en général, & des premiers Essais pour parvenir à une Théorie des Mines.

§. 19.

SI l'on met en fait ce qui est très-vraisemblable, savoir que les guerriers du quinzieme siecle n'ont pas ignoré l'usage des Romains, de sapper les murs d'une ville assiégée, de les étayer & de les écrouler ensuite en brûlant les étançons, il semble fort naturel qu'eux, qui connoissoient déja, depuis un siecle, la force de la poudre par ses effets, dussent recevoir la pensée de remplir de poudre une fosse pareille à celle qu'on faisoit par la sappe, & de faire sauter les murailles en l'air au-lieu de les écrouler (*). On se forme plutôt de

(*) M. CALVOR remarque dans les Relations historiques des Minieres du pays de Brunswick, §. 49, qu'on s'est servi des Mineurs de la montagne appellée Rammelsberg, au treizieme siecle, pour sapper un fort situé sur une montague, & pour le faire écrouler par le feu.

trop grandes idées des instruments de nouvelle invention, que de s'en promettre trop peu ; ainsi on ne pouvoit pas bien se méfier de la puissance de la poudre. En outre, le peu de fraix que demande la petite excavation d'une mine, comparé à ceux qu'il falloit pour renverser les murailles de l'autre maniere, pouvoit offrir un motif puissant à embrasser cette méthode ; enfin, la connoissance des Taupes devoit de plus en plus hâter l'usage des mines. Mais peut-être sommes-nous dans le cas de ceux qui ont blâmé COLOMBO : la question n'est pas de savoir avec quelle facilité on a pu faire cette découverte ; il s'agit de s'assurer seulement qui en a été l'auteur ; & cet honneur est dû, sans contredit, à un Général Espagnol, à PIEDRO NAVARRO.

§. 20.

La partie historique de l'invention des mines, & de leur premier usage, a été si souvent représentée, & tant mutilée, par la répétition fréquente des Ecrivains sur les mines,

On voit par-là qu'après l'invention de la poudre, il ne fut guere difficile, au quinzieme siecle, d'en passer à l'usage des mines.

qu'on ne ſait plus à quoi s'en tenir; ſur-tout lorſqu'on remarque la variété des opinions que manifeſtent Meſſieurs FOLARD, LE BLOND, VILLENEUVE, MULLER & tant d'autres, ſur leur origine, tandis que les derniers n'ont probablement fait que copier M. FOLARD, & qu'ils ont tous, par conſéquent, été du même avis. Quelque peu que je ſois incliné à m'engager dans une diſcuſſion particuliere ſur ce ſujet, auſſi peu ſuis-je porté à répeter ce qui ſi ſouvent a été rebattu. D'ailleurs, je crois que le récit ſuivant de cette invention, qui eſt de GUICCIARDINI, peut ſervir au lieu de tous les autres, puiſque vraiſemblablement M. FOLARD y a puiſé le ſien, & que GUICCIARDINI, en tant qu'Hiſtorien, eſt généralement digne de foi.

§. 21.

A l'endroit où GUICCIARDINI (*) rapporte l'hiſtoire de la guerre où l'Eſpagne gagna le Royaume de Naples ſur les François, en décrivant la priſe de la Capitale de ce

(*) La Hiſtoria d'Italia di M. Franciſco Guicciardini, Gentilhuomo Fiorentino, di nuovo riveduta & corretta, per Franceſco Sanſovino, 1636. 4. p. 307, 308.

Royaume, l'an 1503, il fait mention de l'usage des mines, & assure qu'elles y ont été employées pour la premiere fois. Le Commandant Espagnol, CONSALVO, força la tour de San-Vincentio, à Naples, à se rendre, & commença à battre le Château neuf (Castel nuovo). Pour cet effet, il plaça une partie de son artillerie au pied de la montagne de San-Martino, & une autre sur la tour de San-Vincentio, pendant que PIEDRO NAVARRO, qui, apparemment, commandoit l'attaque de ce côté sous ses ordres, s'approcha des murailles du château, par des galeries souterreines, pour les faire sauter en l'air. Ce travail réussit au point, qu'on obtint une brêche considérable à la muraille. L'Infanterie Espagnole, qui se tenoit prête à donner l'assaut, pénétra, partie par cette breche, & partie en escaladant les murs déja dégarnis de défenseurs, au-dedans du château. La garnison se retira alors au réduit intérieur du château (nell Rivellino), & CONSALVO, lui-même, crut qu'il ne sauroit remporter celui-ci autrement que par les moyens employés au château. Cependant ses troupes, dans la chaleur de l'assaut, pénétrerent également au réduit, & les François furent obligés, en moins d'une demi-heure, de se rendre à discrétion.

§. 22.

Pour ne pas retarder la conquête de la partie reſtante du Royaume, après un ſiege dont on ne devoit le ſuccès qu'aux mines, Consalvo, lui-même, marcha avec une partie de l'armée vers Gaeta; il détacha Prospero Colonna, avec une autre partie, vers Abruzzi, & il laiſſa le reſte ſous les ordres de Piedro Navarro, pour le ſiege du château dell' Vouo, appellé aujourd'hui dell' Ovo, que les François occupoient encore. Comme ce château, ainſi que l'on ſait, eſt ſitué ſur une langue étroite de terre, les François ne ſe mirent principalement en devoir qu'à la défendre; mais Piedro Navarro fit l'ataque par un endroit tout différent. Il s'approcha des murailles du château, par des bateaux couverts; il y appliqua, ſans que les François s'en apperçuſſent, ſon invention des mines, & remporta ainſi l'endroit de la Capitale, qui, juſques-là, reſtoit encore aux François.

§. 23.

Piedro Navarro prit connoiſſance de ce nouveau genre d'attaque, à ce que Guicciardini ajoute, lorſqu'il ſe trouvoit comme ſimple ſoldat parmi les troupes Génoiſes,

au fiege du château de Montagne (Rocca), appellé Serezanello, l'an 1487. C'eft-là qu'on employa premiérement les mines. Mais comme on s'étoit un peu mépris dans la conduite des galeries, & que le fourneau ne fe trouva pas exactement deffous la muraille, il en réfulta une breche trop étroite pour donner l'affaut. Serezanello ne fut pas prife, & l'on ne s'y fervit plus de mines.

§. 24.

Ainfi, à mon avis, l'honneur de l'invention refte à PIEDRO NAVARRO. Il eft vrai qu'auparavant il avoit vu faire des mines par des Officiers Génois; mais on ne peut dire qu'il ait appris à connoître rien au-delà de la poffibilité d'une pareille entreprife : auffi, nous ne voyons pas qu'au fujet d'une chofe qu'il ne s'agit pas feulement d'inventer, mais de mettre en pratique, on puiffe regarder comme inventeur celui qui une fois en a conçu l'idée, mais plutôt celui qui en a montré l'utilité réelle par des épreuves. Or, par rapport aux mines, ce n'étoit nul autre que PIEDRO NAVARRO. M. de VALLIERE nomme encore un certain Architecte Napolitain, FRANCISCO GEORGIO, (François George) qui

l'auroit fecondé & fervi de fon avis ; mais comme il ne le prouve pas par des autorités, & que nous nous en rapportons uniquement à Guicciardini, nous ne faurions prononcer là-deffus. En général, la majeure partie des avis touchant les premieres mines, paroît fort incertaine, puifqu'on ne défigne pas même l'endroit où l'on s'en eft fervi avec l'effet défiré. Le château dell' Ovo, qu'on fait paffer pour tel, ne l'étoit nullement.

§. 25.

Guicciardini ne s'étend fur la vie de Piedro Navarro, qu'en difant, comme nous avons déja rapporté, que feize ans auparavant, il avoit fervi dans l'infanterie des Génois, en qualité de fimple foldat. Il ajoute qu'après la conquête de Naples, où il s'étoit acquis tant de réputation, il fervit aux campagnes fuivantes, avec non moins d'agrément, mais que la courfe brillante de cet homme finit tout-à-coup à la bataille de Ravenne, 1512, l'onzieme Avril. Il y fut fait prifonnier ; on lui imputa, en grande partie, la perte des Efpagnols, & on lui refufa la rançon de 20,000 ducats, qu'il falloit acquitter pour recouvrer fa liberté. Après la mort du

Roi FRÉDERIC, le jeune Roi FRANÇOIS lui offrit pourtant cette ſomme, en voulant l'employer à ſon ſervice; mais PIEDRO NAVARRO s'en excuſa, peut-être pour avoir déja paſſé au ſervice François, ou afin de jouir du repos pendant ſa vieilleſſe.

§. 26.

A la gloire de l'invention des mines, il importe encore de remarquer, d'après GUICCIARDINI, que, durant une vingtaine d'années qui ſuivirent la priſe de Naples, on s'eſt ſervi différemment des mines dans l'Italie, ſoit pour faire des breches, ſoit pour les élargir par leur moyen, mais nulle part avec le ſuccès que PIEDRO NAVARRO en avoit retiré en les employant. Selon l'hiſtoire, on en rejetta la faute ſur la précipitation des aſſiégeants, ſur le manque d'ordre parmi ceux qui monterent à l'aſſaut, ou bien ſur les chapelles des Saints qui ſe trouverent au-dedans des murailles, à l'endroit qu'on les avoit minées : mais il ſemble, en général, qu'on n'avoit pas ſi bien pénétré les ſecrets de NAVARRO, à diriger les galeries, à conſtruire les fourneaux & à charger les mines, qu'on ſe l'étoit peut-être perſuadé à ſoi-même.

§. 27.

La grande frayeur que les mines de NAVARRO causerent à tous les gens de guerre, en ce que même les murailles les plus superbes qui pouvolent braver long-temps les pieces d'artillerie, ne seroient plus désormais en sûreté contre le renversement, devoit, par cette raison, bientôt s'évanouir. Aussi GUICCIARDINI remarque, à juste titre, que la crainte, pour une nouvelle maniere d'attaquer, ne dure que jusqu'à ce qu'on ait appris celle de se mettre en défense. On la trouva contre les mines, plutôt qu'on n'auroit pu le penser. CONSALVO fit rebâtir le Castel nuovo après la prise de Naples. Pour empêcher de pénétrer dans les murs, il y fit par-tout pratiquer des galeries un peu au-dessus du niveau de l'eau, pour servir de contre-mines. (*) Les Vénitiens firent la même chose en fortifiant Padoue, en 1509. Ils bâtirent des bastions à l'entour des murailles, pour les flanquer : mais afin que l'ennemi ne pût prendre avantage de ces bastions, s'il s'en em-

(*) GUICCIARDINI dit formellement que le château a été contre-miné, (*contraminata*) pag. 307.

paroit un jour, ils y pratiquerent des mines propres à les faire sauter en l'air, au cas qu'ils dussent les abandonner.

§. 28.

Comme l'histoire des mines n'est point le sujet que nous avons en vue, nous n'ajouterons rien par rapport au progrès de cette science, & nous passerons d'abord à ce qu'on a fait, eu égard à la théorie requise à la perfection de cet Art dans les temps postérieurs. Il falloit bien des revers dans les épreuves, avant que l'on pût s'assurer de l'insuffisance d'une pratique défectueuse, & de la nécessité d'une meilleure théorie pour éclairer les praticiens. GUICCIARDINI dit en propres termes, que par rapport au mauvais effet de plusieurs mines, on s'en est pris à toute autre chose qu'au défaut d'une théorie propre à les appliquer, dans le cas où on veut en construire. Cependant, quand même on auroit remarqué dès-lors ce qui manquoit à la science des mines, il auroit fallu bien du temps encore avant que de parvenir de façon ou d'autre à aucune théorie. Avant M. BOYLE, on n'avoit que peu ou point du tout pris la voie d'étendre la Physique & les sciences pratiques qui en dé-

pendent, par le moyen des épreuves : il falloit donc que pendant la guerre, où l'esprit d'observation est souvent en défaut, l'expérience fît tout ; & cela ne se pouvoit que bien lentement.

§. 29.

Cela étant, il n'y a pas lieu de s'étonner qu'on ne se soit avisé d'une théorie des mines que du temps de M. VAUBAN, c'est-à-dire près de deux siecles après l'invention des mines. On sait que M. VAUBAN donna une nouvelle face à l'art des sieges. Les mines, qui pour-lors furent regardées comme indispensables à faire des breches, étoient donc de son ressort, & par cette raison il devoit tâcher de fonder cette partie de l'Art de Sieges sur des principes & des regles. Or il n'étoit plus étrange de son temps, d'interroger la nature par des épreuves d'expérience, & il prit cette route qu'on n'avoit guere fréquentée par rapport à l'art de la guerre. Il chargea de l'exécution de ces épreuves, M. MEGRIGNI, Officier des Mineurs, qui depuis 1673 se trouvoit avec sa Compagnie à Tournay pour y travailler aux contre-mines. Celui-ci remplit sa commission l'an 1686.

§. 30.

§. 30.

Ce n'eſt que d'après l'opinion commune, que nous venons d'indiquer que ces épreuves ſi renommées & ſi ſouvent alléguées, quoique ſi peu connues, ont été exécutées à la réquiſition de M. DE VAUBAN; mais nous ne garantiſſons point la réalité du fait, qui nous paroît d'autant moins probable, que M. DE VAUBAN ne s'y rapporte pas proprement dans ſes écrits. Quoi qu'il en ſoit, on les exécuta, ces épreuves, auxquelles tous les Ecrivains ſur les mines en appellent plus ou moins; & même aujourd'hui elles ſont encore fort accréditées auprès de certaines gens: cependant nous ne ſavons pas juſqu'ici qu'on les ait données au Public. Afin donc de détruire les erreurs qu'elles ont occaſionnées, nous allons rapporter l'eſſentiel de ces épreuves (*), moyennant la copie que nous avons devant les yeux.

(*) Le détail des épreuves de Tournay ſe trouve à la ſuite de toutes les copies de la *Nouvelle Théorie ſur la Science des Mines* de M. BELIDOR; il y a joint des remarques, afin de faire ſentir aux Lecteurs prévenus en faveur de ces épreuves, qu'elles ne ſont pas ſi irréfragables qu'il faille d'abord rejetter les ſiennes qui donnent d'autres réſultats.

§. 31.

Nous avons réduit à la Table suivante toutes les épreuves qui ont été faites, afin de pouvoir les parcourir des yeux à la fois. On y voit la ligne de moindre résistance, & la charge de chaque mine, avec ce qui a été observé de plus pendant & après son effet. Nous parlerons tout de suite de quelques autres considérations qu'elles ont occasionnées, ou qui peuvent encore se faire à leur sujet.

Epreuves de Tournay.	*Ligne de moindre résistance.*	*Charge.*	*Diametre de l'Entonnoir.*	*Diametre par la Chambre.*	*Hauteur de la Gerbe de terre.*
N°.	*Pieds.*	*Livres.*	*Pieds.*	*Pieds.*	*Pieds.*
1	12	200	16	0	30
2	12	100	4 à 5	0	4 à 5
3	12	150	24	12	12
4	12	150	24	12	12
5	24	300	5 à 6	0	1 à 2
6	24	500	12	0	3
7	24	1400	42	—	—
8	24	1200	48	24	24
9	36	4050	72	36	36
10	12	100	0	0	6
11	12	100	0	0	6
12	20	700	—	—	—
13	20	700	—	—	—
14	20	700	—	—	—
15	20	700	—	—	—
16	15	293	30	15	15
17	20	700	40	20	20
18	30	2500	60	30	60
19	37	4000	11 à 12	0	—
20	40	5400	65 à 66	—	—
21	32	2844	64	32	60

Pour plus d'intelligence, nous obſervons que le trait de travers — marque, que dans le récit, on n'a point donné la dimenſion qu'on a trouvée de l'une ou de l'autre partie, après l'effet de la mine; & que le zéro déſigne que ces parties n'ont point du tout eu lieu.

§. 32.

S'il eſt vrai que ces épreuves furent faites par ordre de M. DE VAUBAN, il feroit à ſouhaiter qu'on eût également conſervé l'inſtruction qu'il en donna à l'Officier des Mineurs : car il paroît trop évidemment, par la deſcription que nous allons faire de ces expériences, qu'on devoit s'être déja mis certaines idées dans l'eſprit, & qu'on n'avoit en vue que de les confirmer ſuffiſamment par leur moyen. Rien de plus facile que cela; l'Hiſtoire des Sciences en fournit pluſieurs exemples déſagréables.

§. 33.

On a déja dit que toutes ces épreuves ſe font faites à Tournay. Le glacis de la Citadelle fut en particulier l'endroit dont on fit choix pour cet effet, & les quinze premieres mines jouerent dans le voiſinage de la redoute

de St. Martin. On y rencontra une terre grasse, quoique sablonneuse, qui, sur 10 à 20 pieds de profondeur, avoit des veines rouges & dures; & quoique le grain fût plus gros à une plus grande profondeur, la terre se trouva en général d'une telle consistance, que, coupée perpendiculairement, elle se soutint comme une muraille.

§. 34.

On chargea la premiere mine au hasard, & on inféra de son effet, qu'elle avoit été surchargée, parce que le plus grand diametre de l'entonnoir ne fut pas le double de la ligne de moindre résistance. Voilà l'épreuve tant renommée, qui démontroit, comme on l'a cru, & comme en partie on le croit encore, qu'une mine surchargée produit un trou cylindrique au-lieu d'un vaste entonnoir. Nous ne nous attacherons pas à ce qu'il y a d'indéterminé dans l'expression, quoiqu'on ne puisse se faire d'idée d'une mine surchargée, aussi long-temps qu'on ne connoît pas celle qui est convenablement chargée, & que cette épreuve ne découvre point. Nous remarquerons en général qu'une supposition pareille, contre nature, d'une espece de puits par rapport à une mine surchargée, ne peut se prouver par une seule

expérience, & qu'il falloit nombre d'épreuves pour cela : auſſi, nous avions toujours conjecturé qu'on les avoit pratiquées à Tournay, tant que nous ne connoiſſions les épreuves de M. MÉGRIGNI que par d'autres, & que nous n'avions pas occaſion d'être mieux inſtruits. Toutefois il paroît encore bien ſingulier que la troiſieme mine, à même ligne de moindre réſiſtance & avec moins de poudre, ait produit un plus grand effet; nous ne ſavons qu'y répondre, ſi ce n'eſt que nous oppoſons à ces deux expériences une troiſieme de M. BELIDOR, alléguée dans ſes remarques ſur la premiere épreuve. Près de la Fere, on fut obligé de charger deux fourneaux voiſins, l'un de 100 livres, & l'autre de 140 livres de poudre, pour faire produire des entonnoirs égaux, quoique la ligne de moindre réſiſtance des deux mines fût l'une comme l'autre de 10 pieds. Ce que la différente ténacité du ſol a occaſionné ici, peut également avoir eu lieu à Tournay; du moins cette expérience nous ſemble ſuffire à expliquer ce qu'il y a de paradoxal dans une épreuve iſolée.

§. 35.

Il eſt fort naturel qu'on ne fut pas ſatisfait

de la seconde épreuve ; car dans un terrein si ferme, le fourneau étoit assurément trop peu chargé: mais on ne comprend pas comment on le fut tant de la troisieme, où l'on prit le milieu entre deux épreuves faites au hasard. Les raisons qu'on en débite, sont bien singulieres. „ La masse de terre ne fut pas jettée trop haut; „ ce ne fut qu'à 12 pieds, & justement de la „ hauteur que la ligne de moindre résistance „ étoit longue. Elle retomba partie dans l'en„ tonnoir, & partie sur son bord tout à l'en„ tour ; l'entonnoir, ou le logement comme on „ l'appelle, (car les termes de l'art dont on „ se sert aujourd'hui, ne se rencontrent point „ par-tout ici,) étoit un cône tronqué & ren„ versé, Fig. 2., dont le plus petit diametre „ F G étoit égal à la hauteur A C, & son plus „ grand diametre DE, le double de cette mê„ me hauteur AC ". Il est clair que le dessein étoit pris de trouver ce résultat, quand on s'est mis à chercher ; car comment faire autrement de telles conclusions,

§. 36.

Par ces trois épreuves s'acheverent toutes les recherches sur une théorie des mines. Les dix-huit mines suivantes ne servirent qu'à remarquer la même chose qu'on avoit

trouvée à la mine de 12 pieds de ligne de moindre réſiſtance, eu égard à des autres de plus de profondeur, & à s'inſtruire de quelques circonſtances qui n'étoient pas entiérement indifférentes pour la pratique. La quatrieme mine donc fut conſtruite, afin de conſtater ce que la troiſieme avoit appris, & on obſerva de plus que les chambres vuides qui ſe trouvent au même plan horiſontal que le fourneau qui joue, font enfoncées, ſi elles ne font plus éloignées de ce fourneau que de la longueur de la ligne de moindre réſiſtance.

§. 37.

Lorſqu'on voulut entreprendre des mines d'une ligne de moindre réſiſtance double à celle dont on s'étoit d'abord ſervi, on fut aſſez ſimple pour faire la cinquieme épreuve, afin d'apprendre ſi la charge priſe au double ne produiroit pas un entonnoir parfaitement ſemblable au précédent. On ne s'en tint pas-là; on eſſaya encore ſi 500 livres ne pourroient pas avoir cet effet : mais les deux épreuves eurent un ſuccès également mauvais. Dès-lors on fit la concluſion, (qu'on auroit pu faire plutôt & ſans avoir beſoin de ces épreuves) qu'un entonnoir ſemblable à celui de la troi-

fieme mine, étant huit fois plus grand que celui-là, demandoit auffi une charge huit fois plus grande.

§. 38.

Avant qu'on entreprît de conftater ce raifonnement par une épreuve, on effaya par la feptieme mine fi 200 livres de poudre, au-delà de huit fois la charge, ne montreroient rien de remarquable ; mais on obtint un entonnoir moins vafte : par où l'on fut d'autant plus affermi dans l'opinion que la charge fupputée étoit la vraie, comme on l'apprit par la huitieme mine. Voilà la feconde mine furchargée, qui forma un moindre entonnoir qu'une autre chargée plus foiblement; auffi nous nous en rapportons à la remarque faite au fujet de la premiere épreuve.

§. 39.

L'on conftruifit enfuite une mine dont la ligne de moindre réfiftance étoit le triple de celle de 12 pieds, & on reconnut par la neuvieme épreuve, que fi l'on prenoit 27 fois la charge, elle produifoit un entonnoir femblable au précédent; & puifqu'on avoit trouvé le même réfultat à trois profondeurs différen-

tes, on ne différa plus d'établir comme maxime générale par rapport aux mines d'une profondeur quelconque, qu'on obtient le cône tronqué ci-devant décrit pour entonnoir, lorsqu'on met la charge de la troisieme épreuve pour base; & par-là on détermine la charge demandée suivant la proportion des nombres cubiques de la ligne de moindre résistance. Il est évident que cette regle a également lieu par rapport à chaque entonnoir tout autrement proportionné que le précédent cône tronqué, au cas qu'on ne demande que des entonnoirs semblables. Tout devra donc se régler sur la troisieme épreuve, quoiqu'on ne sauroit la regarder comme la meilleure & la seule possible des trois premieres expériences.

§. 40.

La dixieme & onzieme mine ne furent éloignées l'une de l'autre que de leur ligne de moindre résistance, & jouerent à la fois. On vouloit savoir si deux fourneaux qui s'avoisinoient de si près, & qui étoient trop peu chargés, ne pourroient effectuer, par des forces combinées, ce qu'on savoit leur être impossible en jouant séparément : mais on vit qu'ils n'eurent aucun effet. Les quatre mi-

nes ſuivantes, qui étoient placées de la même façon en quarré, avoient leur charge complete; & parce qu'on les allumoit à la fois, elles devoient de toute néceſſité avoir un effet prodigieux. La maſſe de terre qu'elles embraſſoient, fut enlevée à plus de hauteur, & l'entonnoir fut plus profond qu'à l'ordinaire. Cependant on les déclara inutiles, en croyant pouvoir faire la même choſe par le moyen d'une mine de 2800 livres, ſi le niveau de l'eau le permettoit, & on borna ſon utilité au cas où la derniere circonſtance n'auroit point lieu.

§. 41.

Les ſix dernieres épreuves furent miſes en œuvre à un autre côté de la Citadelle, dans un ſol plus dur encore que le précédent, pour voir s'il occaſionneroit des changements en ce qu'on avoit déja trouvé; ce qu'on n'apperçut pas. La ſeizieme mine l'avoit déja appris; & les trois ſuivantes qui jouerent en préſence de M. DE VAUBAN, le conſtaterent en partie.

§. 42.

La dix-huitieme avoit ceci de particulier, que la maſſe de terre fut enlevée à une hauteur

extraordinaire, parce que le fourneau étoit posé sur un banc solide de marne; mais la dix-neuvieme offrit un phénomene tout inopiné, qui se raconte fort confusément. „ Son „ effet, dit-on, surpassa encore celui des mi„ nes précédentes, parce qu'il se trouva plus „ de terre ferme au-dessus de la poudre, & „ elle laissa au milieu de son grand diametre, „ un trou de 11 à 12 pieds de large, de 23 à „ 24 pieds de profondeur". D'après cette description, on se figure un fourneau surchargé qui auroit formé un trou cylindrique; cependant il étoit chargé selon la proportion convenable: voilà ce qui rend d'autant plus incompréhensible ce qu'on en débite.

§. 43.

Comme dès-lors on se croyoit persuadé qu'un terrein solide augmentoit l'effet d'une mine, on chargea la vingtieme mine de 200 livres de moins qu'elle ne demandoit en effet: mais la fermeté du terrein ne servit de rien; le diametre de l'entonnoir se trouva de 15 pieds plus petit qu'on ne s'y étoit attendu.

§. 44.

Enfin, on plaça la vingt-unieme mine dans

un endroit où ſe trouvoient des reſtes d'une vieille tour, & on la chargea ſuivant la proportion établie. Cette mine, malgré le plus de poids à enlever, fit un entonnoir à l'ordinaire, & jetta la gerbe de terre & les débris à une hauteur inattendue.

§. 45.

Il s'agit encore de remarquer qu'au-lieu de coffres cubiques, on a employé des coffres plats pour renfermer la charge des mines. La chambre de celles de 12 & de 24 pieds de ligne de moindre réſiſtance, n'étant haute que d'un pied, & celle de 36 pieds l'étant de deux pieds, ne pouvoient par conſéquent être cubiques pour contenir 150, 1200 & 4050 liv. de poudre. La hauteur des chambres des autres mines n'eſt point marquée; mais il eſt à préſumer qu'on a toujours regardé la figure cubique comme très-indifférente. De plus, on ne compta point la ligne de moindre réſiſtance du centre, mais du deſſus de la chambre.

§. 46.

Pour terminer cette relation des épreuves de Tournay, nous allons ſuccintement expoſer les regles & maximes dont l'Auteur du

Mémoire qui nous a guidés jusqu'ici, a parsemé le récit de ses épreuves. Nous le ferons à-peu-près dans les mêmes termes dont il s'est servi. Il conclut & soutient après ses épreuves :

1°. Qu'une mine surchargée produit un effet semblable à celle qui est trop peu chargée, à la différence près, que la premiere souleve la masse de terre avec plus de force, & la chasse à plus de hauteur.

2°. Que la charge de 150 livres pour une mine de 12 pieds de ligne de moindre resistance, fait un entonnoir qui a la figure d'un cône tronqué de la hauteur de cette ligne, & dont les deux diametres sont de 12 & de 24 pieds.

3°. Qu'on obtient constamment un entonnoir semblable à celui-ci, si, en partant de l'expérience précédente, on regle la charge à raison des nombres cubiques des différentes lignes de moindre résistance.

4°. Que si l'on détermine de cette maniere la charge de poudre, la hauteur de la gerbe de terre est égale à la ligne de moindre résistance.

5° Que deux mines trop foiblement chargées, en jouant à la fois, ne font point

d'entonnoir ordinaire, même dans le cas où elles ne feroient éloignées l'une de l'autre que de la ligne de moindre résiſtance.

6°. Que quatre mines eſpacées à la même diſtance, convenablement chargées & allumées à la fois, ne font point d'entonnoir commun qui ſoit plus grand, que ſi chaque mine avoit joué ſéparément.

7°. Qu'un terrein plus ſolide ne produit aucun changement aux proportions ſuſdites de l'entonnoir, & que de telles mines ne ſe diſtinguent des autres que parce que la maſſe de terre eſt chaſſée dehors avec plus de violence.

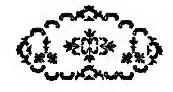
8°. Qu'on ne doit pas cependant diminuer la charge de poudre dans l'attente qu'un terrein ferme augmente la force de la poudre; & enfin,

9°. Que les chambres vuides, & par conſéquent auſſi les galeries, s'enfoncent, ſi elles ne ſont pas plus éloignées par-deſſous ou ſur les côtés du fourneau qui joue, que de la longueur de la ligne de moindre réſiſtance.

§. 47.

Voilà le fond des épreuves de Tournay, tant

vantées, & les conséquences qu'on en a déduites. Nous avons tout fidélement rapporté d'après le Mémoire que M. de MEGRIGNI a probablement lui-même composé, sans rien cacher de ce qui pourroit même être contraire à nos propres sentiments. Les observations peu nombreuses que nous y avons ajoutées, ne regardent absolument que l'historique; car ici il ne s'agit pas encore des maximes qu'il contient, & c'est par cette raison que nous n'avons pu faire usage des belles remarques de M. BELIDOR sur ce Mémoire, puisqu'elles supposent une théorie avérée, qu'on ne sauroit encore prétendre de notre part.



SECTION III.

Des différentes Théories fondées ſur les épreuves de Tournay.

§. 48.

LES Théories différentes des mines, tant anciennes que modernes, qui feront le ſujet de cette Section, ne ſe fondent pas ſi exactement ſur les épreuves de Tournay, que chaque maxime qui en decoule (§. 46) y ſoit adoptée. Car dans ce cas, ceux qui ont voulu traiter la Théorie des mines par goût, comme effectivement il s'en eſt trouvé, n'auroient pu y ajouter rien davantage. Ils s'en écartent plutôt en quelques points, par exemple, eu égard à la figure de l'entonnoir; mais il s'accordent parfaitement ſur ce qui conſtitue proprement les principes de M. MEGRIGNI. Ils admettent tous, que le plus grand diametre de l'entonnoir ne doit jamais être plus grand ni plus petit que le double de la ligne de moindre réſiſtance. Ils ſe perſuadent d'après M. MEGRIGNI, qu'une mine à une charge plus forte qu'il ne faut pour un tel entonnoir, forme, non pas un entonnoir

entonnoir plus évafé, mais plutôt un qui foit plus petit, comme, d'autre part, celle qui a une moindre charge, ne peut non plus former un entonnoir de cette grandeur.

§. 49.

Pour parvenir, au moyen de ces reftrictions, à une théorie des mines, il femble qu'on ait pris la route fuivante. Ceux qui d'abord cherchoient à proportionner la charge des mines d'après des regles invariables ou par une théorie, afin d'atteindre à coup fûr l'objet qu'on s'étoit propofé, emprunterent toutes les idées de l'action de la poudre dans les mines, de ce qu'ils avoient vu aux bouches à feu. Ils voyoient à la décharge des mortiers, comment la poudre enflammée chaffoit la bombe, qu'on refouloit, en ce temps, hors de la volée, & la portoit au but fans que le mortier en fût fenfiblement ébranlé ou enfoncé. On en fit l'application aux mines; on leur trouva une chambre comme au mortier : le refoulement qui bouche la chambre du mortier, & la plateforme qui empêche le mortier de s'enfoncer dans un terrein de peu de confiftance, les fit fonger à la nature & à l'immobilité de la terre. La mine formoit elle-même la volée, par

l'excavation qui ſe voit après ſon effet; & la maſſe de terres qu'elle chaſſe, pouvoit repréſenter la bombe, à cette différence près, que celle-ci étoit jettée plus au loin. Nous ne prétendons pas ſoutenir qu'il n'en arrive pas autrement par rapport au jet des bombes, ainſi que nous venons de le dire; mais nous croyons qu'il y a cent ans qu'on ne pouvoit pas bien enviſager la choſe ſous un autre point de vue : au contraire, l'application de ces idées ſur les mines paroît très-facile, vu la grande reſſemblance qui ſe remarque dès le premier abord. Tout devoit donc revenir à cette queſtion : Quelle proportion la puiſſance motrice, c'eſt-à-dire la charge de poudre, doit-elle avoir par rapport au poids du ſolide que forme l'entonnoir de la mine, afin de produire l'effet demandé ?

§. 50.

Pour réſoudre ce problême, il falloit s'aſſurer du poids à enlever, & puis de l'effort de la poudre ſur une maſſe de figure & de volume déterminé. Preſque tous les Auteurs de la ſcience des mines, different ſur ces deux points; & il falloit être d'accord ſur la figure de l'entonnoir, avant que de pouvoir trouver

ſa ſolidité ou le poids à enlever. Il en eſt qui croyent qu'il ne ſe rapporte à aucun des ſolides connus juſques ici dans la Stéréométrie; d'autres l'y trouvent en effet. Ceux-ci s'accordent tous à ſuppoſer que la ligne de moindre réſiſtance eſt préciſément la moitié du plus grand diametre; mais ils different beaucoup les uns des autres ſur la jonction des extrêmités du diametre avec le ſommet de l'entonnoir, en ce que les uns les joignent par une ligne droite, d'autres par une ligne mixte, & encore d'autres par une courbe. M. DE VAUBAN prend le cône rectangulaire pour la figure de l'entonnoir; Fig. 1. M. MEGRIGNI, de même que ci-devant M. BELIDOR, & récemment M. PRUDHOMME, le cône tronqué, Fig. 2. M. VALIERE, & après celui-ci pluſieurs modernes, le conoïde parabolique, Fig. 3. JOHN MULLER, le paraboloïde tronqué. M. LE FEBVRE, un cône d'un ſeptieme plus grand que celui à angle droit; & enfin M. MELDERCREUZ, un corps conique, terminé par le bas, d'une chaînette, & par les côtés, d'une trajectoire. Ces Auteurs different davantage encore en déterminant le poids à vaincre pour une certaine quantité de poudre; & cela ne ſe pouvoit pas bien autrement, puiſque la poudre, à meſure des différents ſoins qu'on a

mis à sa fabrique, est susceptible d'une force différente. Nous parlerons de chacun d'eux en particulier, & ensuite nous les mettrons en parallele.

§. 51.

Nous avons déja dit que M. DE VAUBAN a eu des égards singuliers pour la science des mines, & qu'il a tâché d'en donner une Théorie pratique. Ce qu'il a fait à cet égard, se trouve dans ses écrits sur la science des sieges, mais différemment dans ses trois écrits différents; c'est pourquoi nous allons indiquer chaque méthode en particulier. La premiere se trouve dans l'Ouvrage qu'il présenta en 1704 à LOUIS XIV, qui vraisemblablement est le plus ancien de ses Ouvrages, quoiqu'il n'ait été imprimé qu'en 1740, & par conséquent plus tard que ses autres écrits.

§. 52.

Lorsque la mine a joué, dit M. DE VAUBAN, (*) elle forme une ouverture qui, en quelque sorte, a la figure d'un cône rectangulaire & renversé. La pointe du cône tombe au cen-

(*) *Mémoire pour servir d'instruction dans la conduite des Sieges, chap. XXVII, p. 145 - 152.*

tre du fourneau, & le diametre de sa base est double de la hauteur, comme il s'ensuit de ce que les côtés renferment un angle droit. Enfin, il veut montrer comment se trouve le contenu d'un pareil entonnoir, mais ne montre en effet que la maniere de trouver combien de toises contiennent les cubes de la ligne de moindre résistance. Pour une terre médiocre, il compte 15 livres de poudre par toise cubique trouvée de cette maniere, & conseille d'y ajouter un cinquieme pour un terrein plus solide. Il s'explique par l'exemple d'une mine qui a 22 pieds d'épaisseur de terre au-dessus de sa chambre. Comme dans ce cas la chambre doit être haute de 2 $\frac{1}{2}$ pieds, il joint la moitié ou 1 $\frac{1}{4}$ pied à l'épaisseur des terres, pour avoir une ligne de moindre résistance de 23 $\frac{1}{4}$ pieds; & en prenant un nombre entier, il la suppose de 24 pieds ou de 4 toises. Le cube de ce nombre = 64 multiplié par 15, donne 960 livres; ce qui, selon lui, est la charge convenable d'une telle mine : il faut ajouter 192 livres pour une terre solide, & parce que la poudre peut contracter de l'humidité; & l'on aura 1152, ou peu au-delà de 1150 livres.

§. 53.

Selon ces regles, il a dressé la Table suivan-

te, où il n'a pas observé trop de précision. Partout il a ajouté un cinquieme à ce qu'il trouvoit par le calcul ; de sorte qu'elle est réglée sur des terres fortes, & doit être diminuée d'un cinquieme pour servir aux terres médiocres.

Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre	Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre	Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre	Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre
Pieds.	Livres.	Pieds.	Livres.	Pieds.	Livres.	Pieds.	Livres.
6	20	15	280	24	1150	33	2950
7	32	16	340	25	1300	34	3230
8	45	17	410	26	1450	35	3530
9	60	18	480	27	1620	36	3840
10	82	19	570	28	1800	37	4200
11	110	20	660	29	2000	38	4500
12	150	21	760	30	2220	39	4900
13	190	22	880	31	2450	40	5260
14	226	23	1000	32	2690		

§. 54.

Nous ignorons combien ces suppositions sont fondées sur l'expérience, puisqu'il est impossible de conclure par les écrits de M. DE VAUBAN, si l'exemple allégué (§. 52.) est une expérience ou non ; mais il est toujours fort à craindre, qu'en prenant le cube de la ligne de moindre résistance à la place du solide for-

mé par l'entonnoir, M. DE VAUBAN n'ait donné ici dans l'erreur. Posé qu'il eut trouvé par des épreuves la charge de quelque mine, & que, pour s'en épargner la peine, il se fût déchargé sur quelqu'un mieux au fait du calcul des corps solides, (*) pour trouver combien de livres il faut par toise cubique, apparemment il l'auroit trouvé exactement; mais par la suite, il auroit obtenu une charge toute différente de la vraie, s'il eût voulu appliquer la charge trouvée sur d'autres mines dont il auroit calculé l'entonnoir à sa maniere. La charge auroit été trop foible, parce que le cône qui

(*) Le point de vue sous lequel on envisage le Maréchal DE VAUBAN, n'est guere propre à donner de fort hautes idées de ses connoissances en Géométrie. J'ose me flatter que l'Auteur me permettra d'observer, d'après M. DE FONTENELLE, que la Géométrie, la Trigonométrie & le Toisé, ont été du nombre de ses premieres études, & qu'il fut un de ceux qui fut le mieux appliquer les Mathématiques au bien-être de la société. Il est vrai qu'il a employé un grand nombre de calculateurs & de copistes; mais doit-on conclure de-là qu'ils étoient mieux au fait du calcul que lui? n'est-on pas plutôt fondé à croire, qu'il en avoit besoin, pour rassembler tant de matériaux renfermés dans douze Volumes qu'il a laissés en manuscrit? J'en fais juge tout Lecteur impartial. *Note du Traducteur.*

eſt la figure de ſon entonnoir, ſurpaſſe ſenſiblement le cube de la ligne de moindre réſiſtance. Car ſi le diametre eſt $= 1$, la circonférence $= 3,1415\ldots$ & la ligne de moindre réſiſtance $= k$, la baſe du cône ſera $= 3,1415\ldots k^2$, & la ſolidité $= \frac{3,1415\ldots k^3}{3} = 1,047197\ k^3$: ainſi le cube de la ligne de moindre réſiſtance étant de k^3, eſt de $0,047197\ k^3$ plus petit que la ſolidité précédente.

§. 55.

Cependant ſi M. DE VAUBAN a procédé en tout de la maniere qu'il faut, il auroit pu mieux s'expliquer, en diſant tout uniment, comme M. MEGRIGNI, que les charges des mines de différentes profondeurs ſont en raiſon des cubes de la ligne de moindre réſiſtance; & c'eſt, ſelon tout apparence, ce qu'il a voulu ſeulement dire : mais cela étant, il auroit bien fait d'aſſigner la mine d'épreuve qu'il a miſe en fondement.

§. 56.

M. DE VAUBAN donne ſon ſecond précepte ſur la charge des mines dans ſon Art d'attaquer les Places (*). Celui-ci ne ſe diſtingue

(*) *De l'Attaque & de la Défenſe des Places, par M.*

presque du précédent que par la prolixité, & en outre par une prétendue théorie de l'action de la poudre enfermée dans la terre. En supposant qu'on allume une certaine quantité de poudre de figure sphérique & suspendue en l'air, il soutient que l'action de la poudre s'étendra également de tous côtés, & formera par-là une sphere autour de celle de la poudre. Il ajoûte que si une telle sphere enflammée étoit à demi plongée dans une matiere dure & capable de résister à l'effort de la poudre, toute la force de la poudre enflammée agiroit sur l'hémisphere libre, dont l'effet seroit double de ce qu'il étoit auparavant. De même si $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$, ou autre partie quelconque y étoit enfoncée, il arriveroit, selon lui, que l'effort de la poudre seroit d'autant plus grand vers la portion libre que la sphere est divisée en parties égales (*).

DE VAUBAN, *La Haye*, 1737, in-4°. Chap. XVII, XXI, *p.* 111-139.

(*) L'Auteur du *Traité de la Défense des Places par les contre-mines*, explique l'inflammation de la poudre de la même maniere, lorsqu'il dit : „ Si l'on suppose un grain „ de poudre plongé jusqu'à la moitié dans un milieu ré- „ sistant invinciblement ou à ressort parfait, tous les

§. 57.

En partant de ces principes, de la bonté

„ rayons de l'hémifphere plongé, frapperont dans le même instant, & avec un effort égal, les parties oppofées du milieu réfiftant, feront réfléchis vers la partie libre, & doubleront l'effet de ce côté". Un Anonyme obferve que cette maniere de confidérer l'action de la poudre, eft peu propre à en donner une jufte idée : „ Car, dit-il, après la fuppofition de l'Auteur, les rayons feront réfléchis fous les angles felon lefquels ils auront frappé le milieu à reffort parfait. Le réfultat dépendra donc de la figure de ce milieu. Suppofons que ce foit une demi-fphere concave, qui ait le même centre que celui de l'hémifphere plongé ou du grain de poudre enflammé, il eft évident que tous les rayons de ce grain de poudre fphérique, pourront être regardés comme ceux de l'hémifphere concave, dont ils viennent frapper la furface. Mais les rayons d'une fphère font toujours perpendiculaires à fa furface : donc tous ces rayons étant réfléchis perpendiculairement, retourneront vers le centre de la fphere, d'où ils font partis. Mais étant tous partis dans le même inftant, & ayant parcouru en allant & en revenant un chemin égal, ils arriverons tous en même-temps vers ce centre & avec une force égale ; ils fe choqueront donc, & toutes leurs forces particulieres formeront une réfultance. Mais une force réfultante eft toujours moindre que la fomme des forces qui la compofent : donc les rayons de l'hémifphere

ou de l'invalidité desquels nous ne décidons pas, M. DE VAUBAN prétend que si l'on enflamme une certaine quantité de poudre à une profondeur prise à volonté sous terre, comme en C Fig. 1, il sera évident, en premier lieu, que la force de la poudre selon la direction CB, éprouve la résistance de tout le globe terrestre ; qu'en second lieu, il lui résiste, selon les directions CD & CE, une section considérable de ce globe ; & qu'en troisieme lieu, les deux triangles terrestres FCD & GCE, lui résistent encore ; & parce qu'elle doit faire son effet dans la direction AC, comme ligne de moindre résistance, il s'ensuit qu'une mine raisonnablement chargée (& non pas chacune en général) coupera la moitié des arcs AD & AE, par la raison que FC & GC tiennent le milieu entre la résistance la plus foible AC, & la plus forte DC & CE.

„ inférieur du grain ou du globe de poudre enflammée, „ qui seront réfléchis par l'hémisphere concave vers la „ partie libre, ne doubleront point l'effort de ce côté, „ comme le prétend l'Auteur". J'ai cru devoir ajoûter ici l'observation précédente, parce que l'idée de M. DE VAUBAN n'est point réfutée dans le texte de cet Ouvrage. *Note du Traducteur.*

§. 58.

Tout ce qui conſtitue la démonſtration de la maxime que chaque mine en jouant forme un cône rectangulaire, devient ſuperflu, s'il faut en borner la conſéquence, comme fait M. de Vauban, à la ſeule condition que la charge de la mine y ſoit proportionnée ; car nous croyons qu'il faut ainſi entendre l'expreſſion des mines *raiſonnablement chargées*. Mais qui en eſt jamais diſconvenu, & qui en demande une démonſtration ? On ne prétend pas examiner la démonſtration même, dont chacun ſentira la foibleſſe ; mais il mérite d'être remarqué que M. de Vauban a totalement perdu de vue les conſéquences qu'il auroit pu tirer de ſa maniere d'enviſager l'action de la poudre dans les mines. Car poſé qu'il ſoit vrai que CE & AC repréſentent le fort & le foible de la réſiſtance, & que le rayon extérieur de la poudre décrive la diagonale CG, pourquoi ne pourroit-il pas y avoir lieu à d'autre proportion, entre les deux lignes précédentes, que l'égalité ? Si cela n'eſt pas impoſſible, comme il eſt naturel, il ſuit, par la façon dont M. de Vauban expoſe les choſes, que AG peut devenir plus petit ou plus grand que AC,

chaque fois que CE a une autre proportion à AC.

§. 59.

On voit, au reste, combien peu M. DE VAUBAN a compté ſur ſa prétendue théorie, ſi l'on conſidere l'incertitude où il étoit quant à la figure de l'entonnoir. Car ayant dit au Chapitre 18, d'où ce qui précede a été tiré, que l'entonnoir eſt un cône tronqué, il prend dès le commencement du Chapitre ſuivant le cône rectangulaire pour ſa figure. Peut-être que par la premiere expreſſion, il n'a voulu dire rien d'autre, ſinon que la véhémence avec laquelle l'action de la poudre ſe fait ſentir auprès de la chambre, ne permet pas que le cône ſoit pointu : toutefois la contradiction eſt palpable, puiſque le cône rectangulaire & le cône tronqué, tel que M. MEGRIGNI le trouva dans l'entonnoir, ſont bien différents l'un de l'autre. Cette contradiction ne ſe leve pas non plus par le calcul du contenu de l'entonnoir qu'il fait d'abord ſuivre, comme on auroit lieu de croire : car M. DE VAUBAN n'apprend encore qu'à trouver le cube de la ligne de moindre réſiſtance, en diſant que cela donne à-peu-près, non pas exactement, la ſolidité des terres à enlever par la poudre. Cepen-

dant par cet *à-peu-près*, on manque déja sensiblement par rapport au cône, & bien considérablement quant au cône tronqué.

§. 60.

Après avoir calculé le solide de l'entonnoir de cette maniere, pour en trouver la charge requise, M. DE VAUBAN compte 12, 15 ou 18 livres de poudre, selon la qualité du terrein, & 20 jusqu'à 25 livres pour la maçonnerie. Il donne ensuite une Table calculée sur 15 livres par toise cubique, à quoi cependant la Table elle-même ne répond nullement. Car il donne 18 livres à une mine de 6 pieds de ligne de moindre résistance, & 142 livres à celle de 12 pieds; ce qui est à-peu-près ce qu'il falloit d'après la supposition précédente: mais à celle de 18 pieds, il ne donne que 479 livres, au-lieu de 486 qu'elle demande si l'on compte 18 livres par toise cubique. Par-là on voit que M. de VAUBAN calcule bien négligemment, ou que les copistes de la Table se sont grossiérement trompés dans les nombres. La voici cependant, cette Table, pour les différentes charges des mines.

Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre	Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre	Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre	Ligne de moindre résistance.	Charge de Poudre
Pieds.	*Livres.*	*Pieds.*	*Livres.*	*Pieds.*	*Livres.*	*Pieds.*	*Livres.*
5	10	14	226	23	1000	32	2692
6	18	15	277	24	1136	33	2952
7	28	16	366	25	1294	34	3229
8	42	17	403	26	1444	35	3522
9	60	18	479	27	1617	36	3833
10	82	19	654	28	1803	37	4161
11	109	20	567	29	2004	38	4510
12	142	21	761	30	2218	39	4873
13	180	22	875	31	2447	40	5258

§. 61.

Il faut bien que le Libraire DE HONDT, après avoir fait imprimer à la Haye, en 1738, pour la premiere fois, l'Ouvrage de M. DE VAUBAN, fur l'attaque & la défenfe des Places, ait jugé, par fon débit, qu'une feconde Partie rempliroit parfaitement, finon les defirs du Public, du moins les fiens, & qu'en conféquence il ait cherché de nouveaux matériaux qu'il trouva bientôt; car cinq ans après, il en parut une feconde Partie, quoiqu'on s'y attendît peu lors de la publication de la premiere, & malgré que perfonne ne fût inftruit que

M. DE VAUBAN eût laissé (à l'exception du premier Ouvrage) aucun manuscrit où quelques matieres fussent traitées en détail. Ce volume, qui ne céda rien en grosseur au précédent, contient une science pratique du Mineur, que l'on prétendit être absolument de M. DE VAUBAN; on y a ajouté un Traitésur l'Art de la Guerre, qu'on n'eut garde de lui attribuer. Mais il y trouva sa place pour grossir le volume, & par ce moyen, ne fût-il même jamais lu, il ne laissoit pas de devoir être acheté par les possesseurs de la premiere Partie, à la pleine satisfaction de M. DE HONDT. En voilà assez pour prouver que l'impression de cette seconde Partie s'entreprit au seul profit de l'Editeur.

§. 62.

Tout ceci se comprend; mais il n'est nullement à concevoir comment les Lecteurs des écrits de M. DE VAUBAN pouvoient être contents. En effet, M. DE VAUBAN avoit traité assez au long dans quatre Chapitres de son Traité de l'Attaque & de la Défense des Places, ce qu'il y avoit de son temps à observer par rapport aux mines. Il ne s'étoit pas borné à montrer ce qu'on doit exécuter de part & d'autre, par le moyen des mines; mais il

il avoit indiqué comment tout cela devoit être mis en ufage, tant de la part des Officiers que de celle du fimple Mineur; de forte que l'Art du Mineur fembloit épuifé. D'ailleurs, les préceptes du *Traité pratique des Mines* s'écartent tant de ceux qu'il avoit donnés auparavant dans la Science des fieges, qu'on étoit fondé à penfer que de ces deux Ouvrages, l'un ne pouvoit être le fien qu'à l'exclufion de l'autre: & après difcuffion, le *Traité pratique des Mines* auroit eu abfolument le deffous, comme n'étant qu'un Ouvrage ramaffé, où l'on a abufé du nom de M. DE VAUBAN.

§. 63.

Cependant nous ne trouvons pas qu'on y ait regardé de fi près. Quelques-uns n'ont pas même obfervé la différence des maximes propres à M. DE VAUBAN d'avec celles qu'on lui prête; d'autres femblent les avoir cru indifférentes, en ce qu'ils prefcrivent tantôt les unes, tantôt les autres; enfin, il en eft qui fe font entiérement déclarés pour les dernieres, vu l'inftruction fort détaillée qu'on donne fur la charge des mines. Voilà ce qui nous oblige à nous y arrêter davantage.

§ 64.

M. DE VAUBAN, ou plutôt l'Auteur du *Traité pratique des mines*, continue à regarder l'entonnoir comme un cône rectangulaire & renversé, & calcule assez bien sa solidité, quoique pas à la rigueur. On allegue ensuite des expériences, par lesquelles on prétend avoir trouvé combien de livres de poudre il faut compter par toise cubique; on donne en conséquence des regles à observer pour d'autres terreins, quoique ces regles ne répondent pas exactement aux expériences. Ces regles, sûres & infaillibles, comme on s'exprime, demandent 14 livres de poudre pour la toise cubique de terre commune, dont le pied cube pese 101 livres; elles demandent 17 livres de poudre pour le sable fort, de 126 livres le pied cube; 18 livres de poudre pour des terres mêlées, de 133 livres le pied cube; 19 livres de poudre pour l'argille, de 139 livres le pied cube; & enfin, 22 livres de poudre pour les terres fortes mêlées de cailloux, de 160 livres le pied cube.

§. 65.

Sur ces principes se fonde la Table suivan-



VAUBAN.
62 | Terre gra

te, qui, par son étendue, est fort célebre. En commençant de deux pieds de ligne de moindre résistance, elle monte jusqu'à 60, c'est-à-dire bien au-delà de ce que la pratique des mines peut jamais exiger: outre les charges, elle contient encore la solidité de l'entonnoir d'après la supposition précédente, apparemment afin qu'on puisse d'abord voir si les charges ont été bien calculées sur les principes que nous venons d'indiquer. Nous sommes aussi peu tentés d'en faire l'examen; que de recueillir les variantes qu'on trouveroit peut-être en comparant les diverses impressions contrefaites de cette Table. (*Voyez la Table ci-jointe.*)

§. 66.

A côté des trois Tables les plus anciennes sur la charge des mines, nous allons ranger une des plus modernes, parce qu'elle ne s'en distingue que fort peu, & qu'elle ne laisse pas d'être la troisieme de M. DE VAUBAN, à quelque variation près. M. LE FEBVRE, qui souvent a été présent à l'usage des mines, qui en a eu souvent la direction, & qui lui-même a fait des épreuves sur les mines, lui qui sut rendre justice aux découvertes de M. BELIDOR sur la Théorie des mines sans en pren-

dre avantage (*), & qui, s'il eût été assez attentif, auroit pu dicter lui-même des formules sur la charge des mines : cet homme, apparemment par trop d'estime pour le Maréchal DE VAUBAN, à qui d'ailleurs il étoit supérieur en toute maniere (**), s'oublia au

(*) On sait qu'il s'est servi du globe de compression de M. BELIDOR au siege de Schweidnitz. On n'a regardé la nouvelle Théorie des mines de M. BELIDOR, que comme l'indication à l'usage de ce globe, quoiqu'elle fût bien davantage: voilà le défaut.

(**) L'expression de l'Auteur paroît trop générale. Pour apprécier les Savants, il faut décomposer leurs talents, & distinguer les connoissances empruntées d'avec celles qui leur sont particulieres. Quant aux premieres, notre siecle surpasse les précédents; la somme des lumieres a beaucoup augmenté, & nos connoissances sont plus étendues que celles des anciens. Ainsi, il est facile de mieux faire que ceux qui nous ont précédés. Mais quand aux secondes, elles ne s'acquierent point par l'instruction : l'art d'inventer est le plus grand effort de la raison ; & quelques hommes de génie, à différents intervalles de temps, ont découvert les uns après les autres un certain nombre de vérités. Si donc M. DE VAUBAN & M. LE FEBVRE, avec une égale application, ont cultivé la science de l'Ingénieur, on est fondé à dire que le dernier, même avec moins de talents & de génie, a dû naturellement surpasser le premier en savoir; parce qu'il pouvoit profiter, non-seulement des lumieres du premier, mais aussi de celles des Ingénieurs qui sont venus après. Or, comme ces con-

point qu'il mit de nouveau sous les yeux de ses Lecteurs la formule sur la charge des mines que nous venons d'exposer (*). Il ne la

---

noissances dépendoient en partie du siecle, & de l'état où la science de l'Ingénieur étoit alors, le plus de savoir du dernier ne sauroit ternir la gloire du premier, parce que celui-ci auroit eu probablement autant de connoissances empruntées que l'autre, s'il eût été son contemporain. Ce qui, dans les sciences, distingue & même éternise les Savants, c'est le génie de l'invention; c'est par le nombre ou par l'importance des vérités découvertes, qu'ils se rendent supérieurs les uns aux autres. Voilà la vraie pierre de touche à laquelle on peut apprécier les deux Ingénieurs en question. En les envisageant donc du côté de l'attaque des Places, où ils ont tous deux excellé, l'Auteur devroit faire voir que M. LE FEBVRE a enrichi cet Art de découvertes plus nombreuses ou plus essentielles que ne le furent les paralleles, les cavaliers de tranchées, les batteries à ricochet, & le nouvel usage des sapes & des demi-sapes; découvertes qui ont fait changer la face de la guerre des sieges, en rendant l'attaque des Places supérieure à leur défense. On a peine à croire qu'il y réussisse; & ainsi nous pensons pouvoir dire avec raison, que M. DE VAUBAN, s'écartant entiérement des regles établies de son temps, a ouvert la carriere, & a créé un art tout nouveau, & que M. LE FEBVRE étant parti du point où celui-là étoit resté, a fait quelques pas plus avant, en perfectionnant & en ajoutant. *Note du Traducteur.*

(*) *Essai sur les Mines*, p. 106-109, en mesure Françoise & du Rhin : nous n'avons conservé que la premiere, pour plus de conformité.

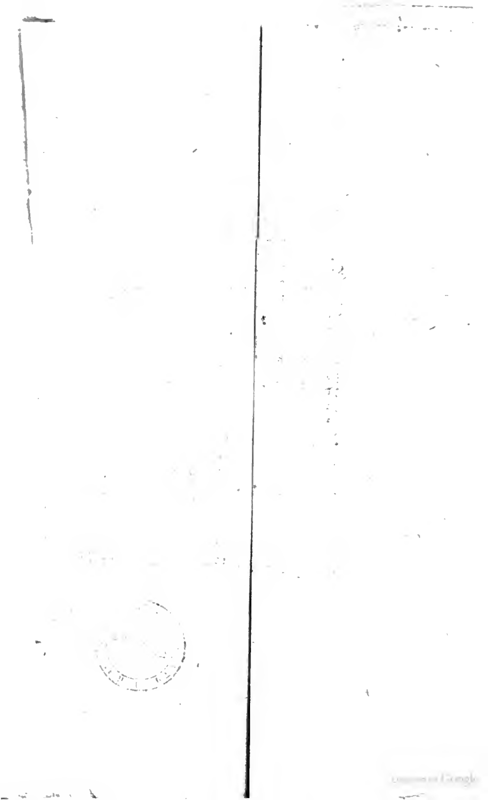
donne pas comme infaillible, mais comme plus exacte, afin de s'en servir dans le besoin, jusqu'à ce qu'enfin on parvienne à des regles fixes : c'est ce qu'il souhaite, & voilà ce qui peut l'excuser en quelque sorte.

§. 67.

La raison que M. Le Febvre allegue de s'en être tenu à la Table soi-disante de M. de Vauban, est, qu'elle se rapporte à la différence des terres : en effet, on pouvoit en attendre une de sa part qui fût d'accord avec l'expérience; mais il ne s'explique point sur cela : il regrette seulement que, soit défaut d'impression ou autre, cette Table de M. de Vauban ait été tellement défigurée, qu'on y remarque des fautes sensibles auxquelles il s'attaché d'apporter remede. Il procede en cela de maniere qu'au-lieu d'admettre le cône rectangulaire, il fait choix d'un solide qui l'excede d'un septieme; du reste, il conserve la même proportion de poudre pour la toise cubique de chaque espece des cinq terres différentes, afin de calculer la charge dans chaque cas particulier.

§. 68.

On ne trouve pas marqué ce qui a porté M. Le Febvre à s'éloigner de M. de Vau-



Sable fort		Terre mêlée.		Argille & Tuf.		Terre grasse mêlée de cailloux.	
Livres.	Onc.	Livres.	Onc.	Livres.	Onc.	Livres.	Onc.
2	3	2	5	2	7	2	13
6	1	6	6	6	12	7	13
11	8	12	3	12	14	14	15
19	14	21	1	22	4	25	12
32	4	34	2	36	1	41	12
47	13	50	10	53	7	61	14
68	0	72	0	76	0	88	0
92	14	98	5	103	12	120	3
124	9	131	14	138	15	163	3
159	9	169	0	178	6	206	8
205	11	217	8	229	8	265	3
2534	14	2684	0	[illegible]	1	[illegible]	[illegible]
2794	13	2959	4	3123	10	3616	13
3085	8	3267	0	3448	8	3993	0
3378	13	3557	9	3776	5	4372	9
3691	3	3908	5	4125	7	4776	13
4040	0	4277	10	4515	5	5228	4
4390	13	4649	2	4907	8	5682	5
4761	4	5041	5	5321	6	6161	10
5151	15	5455	0	5758	0	6663	3
5584	9	5913	1	6241	9	7227	1
6020	5	6364	8	6728	10	7744	12
8560	10	9064	4	9567	13	11078	8
11778	1	12460	2	13152	5	15229	1
20346	0	21542	10	22739	10	26330	2



BAN, quant à la figure de l'entonnoir. Il soutient bien quelque part (*) que l'entonnoir ne soit point du nombre des figures connues de la Stéréométrie, & s'en rapporte à M. BELIDOR, quoique celui-ci adopte une espece de cône tronqué, dans sa Théorie la plus récente. Mais cela posé, quelle raison d'ajouter un septieme au cône de M. DE VAUBAN? *Voyez la Table ci-jointe.*

S'il a des expériences qui appuyent son opinion, pourquoi ne les produit-il pas? Il cite une lettre de M. DE VAUBAN, mais elle ne renferme rien qui le favorise (**) : M. DE VAUBAN y fournit quelques remarques sur une Table qu'on lui avoit envoyée sur la charge des mines, & donne par cette occasion les regles expérimentales que voici. L'expérience a fait voir, dit-il, que minant sous un glacis, une once de poudre enleve un pied cube de terre; ce qui revient pour 10 pieds d'épaisseur ou hauteur de terre, à 75 liv. ou environ. On a pourtant réglé par surabondance, de mettre pour 10 pieds d'épaisseur de terre, 86 liv.; ce qui est une once &

(*) *Essai sur les Mines*, p. 105.

(**) Cette Lettre a été imprimée pour la premiere fois dans le Nouveau Systême sur la maniere de défendre les Places, Francf. 1744, 4°. Essai sur les Mines, pag. 104, not. c.

un feptieme pour chaque pied cube que la mine enleve; pour 20 pieds d'épaiffeur, 600 livres; pour 40 pieds, 4800 livres. Si l'on conftruit les mines de ces trois profondeurs différentes dans la maçonnerie, il demande 100, 800, & 6400 livres de poudre : fi elles étoient placées plus bas que le fondement, il faudroit, à ce qu'il prétend, 150, 1200, & 9600 livres. Il n'eft pas à concevoir que M. LE FEBVRE en ait pu rien déduire en faveur de fa fuppofition; même on pourroit y trouver quelque chofe au défavantage de la Table (§. 65.), dont M. LE FEBVRE fait tant de cas. Car en comparant ce que M. DE VAUBAN dit dans cette Lettre, avec les Tables des §. 53 & 60, on trouvera affez de conformité; & il fe peut aifément que ce foit la même table (§. 65.) qu'on avoit envoyée à M. DE VAUBAN, & qu'il rejetta, en confeillant de s'en tenir à ce qu'il avance dans fa Lettre.

§. 69.

Comme les épreuves de Tournay, & en particulier la premiere maxime qui en découle, (§. 46. n. 1.) ont trouvé tant d'approbation, il eft furprenant qu'on fe foit prefque toujours éloigné de M. MEGRIGNI, quant à la feconde maxime. M. BELIDOR, il eft vrai, fe

déclare dans la premiere édition de fon *Cours de Mathématiques*, pour l'opinion que l'entonnoir de mine foit un cône tronqué, de la façon de celui que M. MEGRIGNI a enfeigné ; & plufieurs autres l'ont imité. Mais dans tous les écrits imprimés jufqu'ici, on ne trouve aucune formule pour la charge des mines d'après cette fuppofition. Quoiqu'on puiffe bien s'en paffer à préfent, cependant afin qu'on trouve enfemble toutes les diverfes opinions, nous allons inférer ici la Table que M. BELIDOR a calculée, & que nous poffédons dans une copie (*).

§. 70.

Par rapport à la conftruction de cette Table, nous pourrons feulement remarquer, vu le défaut d'explication néceffaire, que le calcul de l'entonnoir, d'après la fuppofition précédente, ne fauroit être que jufte, comme dérivant de M. BELIDOR, & que la charge de la poudre eft calculée à raifon de 115 onces fur 100 pieds cubes du folide de l'enton-

(*) C'eft la copie de la *nouvelle Théorie des Mines* de M. BELIDOR, mentionnée ci-devant (§ 30.) & enrichie de cette Table, comme de plufieurs autres, par fon premier poffeffeur M. le Lieutenant-Général de FEIGNET, qui a connu M. BELIDOR perfonnellement.

noir, ce qui répond assez bien à la regle de M. DE VAUBAN, ou $1\frac{1}{7}$ onces par pied cube.

Ligne de moindre résistance.	*Solidité de l'Entonnoir.*			*Charge de poudre.*	
Pieds.	*Pieds cubes.*	*Pou.*	*Lig.*	*Livres.*	*Onc.*
1	1	9	11	»	$2\frac{1}{4}$
2	14	5	9	1	$1\frac{1}{7}$
3	49	5	3	3	$10\frac{4}{7}$
4	117	3	9	8	11
5	229	»	5	16	15
6	359	10	8	29	5
7	628	10	»	46	9
8	938	6	2	70	6
9	1337	5	»	99	»
10	1832	11	6	135	»
11	2439	10	2	180	»
12	3167	6	»	234	»
13	4027	4	7	298	»
14	5030	8	»	372	»
15	6186	11	9	458	»
16	7509	2	2	556	»
17	9006	2	9	667	»
18	10691	7	6	791	»
19	12573	5	1	931	»
20	14665	11	7	1068	»
21	16978	6	»	1257	»
22	19520	2	6	1445	»
23	22305	6	11	1652	»
24	25342	4	»	1867	»
25	28644	10	10	2121	»
26	32220	3	9	2368	»
27	36083	8	3	2672	»
28	40245	4	»	2981	»

Ligne de moindre résistance.	*Solidité de l'Entonnoir.*			*Charge de poudre.*	
Pieds.	*Pieds cubes.*	*Pou.*	*Lig.*	*Livres.*	*Onc.*
29	44711	2	7	3311	»
30	49499	2	11	3666	»
31	54612	9	9	4045	»
32	60073	5	9	4449	»
33	65880	5	5	4880	»
34	72055	»	7	5333	»
35	78604	2	»	5822	»
36	85533	»	»	6326	»
37	92862	10	8	6878	»
38	100594	2	1	7451	»
39	108748	6	1	8055	»
40	117327	9	4	8691	»
41	126351	9	»	9331	»
42	135828	»	»	10015	»
43	145757	1	11	10706	»
44	156169	6	6	11568	»
45	167056	5	6	12374	»
46	178446	10	7	13218	»
47	190334	1	4	14098	»
48	202748	»	»	15018	»
49	215689	10	»	15976	»
50	229160	10	6	16974	»
51	243192	2	5	18014	»
52	257773	6	1	19094	»
53	272947	9	6	20218	»
54	288673	10	6	21336	»
55	305014	5	7	22593	»
56	321962	8	»	23849	»
57	339539	9	2	25151	»
58	357567	6	8	26486	»
59	476517	4	5	27890	»
60	395995	10	»	29332	»

§. 71.

On peut faire grace à M. BELIDOR ſur ſon opinion, dans un temps où, à la réſerve des Ouvrages de M. DE VAUBAN, on n'avoit rien d'écrit ſur les mines; mais il eſt impardonnable qu'en 1770, un nommé PRUDHOMME enſeigne encore de telles fauſſetés (*). Sans juſtifier ſon ſentiment par aucune raiſon, il s'étend au long ſur la maniere dont ſe calcule le ſolide de l'entonnoir conſidéré en cône tronqué, & comment on trouve la charge, en comptant 12 livres de poudre pour des terres de peu de conſiſtance, 16 livres pour des terres médiocres, & 18 livres pour des terres fortes, par toiſe cubique de l'entonnoir. Voici le réſultat de ſon calcul.

(*) *Nouveau Traité des Mines & Contre-mines*, par M. PRUDHOMME, *ancien Officier*. Paris, 1770, 8°. Chap. VII, *de la charge des Mines*, p. 99-132.

Ligne de moindre résistance.	*Solidité de l'Entonnoir.*		*Terre de peu de consistance.*		*Terre médiocre.*		*Terre forte.*	
Pieds.	*Pieds C.*	*Pouc.*	*Liv.*	*Onc.*	*Liv.*	*Onc.*	*Liv.*	*Onc.*
2	10	1192	»	10	»	$14\frac{2}{3}$	»	$16\frac{1}{2}$
3	49	»	2	12	4	»	$4\frac{1}{2}$	»
4	114	»	6	5	9	»	10	»
5	225	»	12	8	16	»	18	»
6	394	»	22	»	29	»	33	»
7	432	»	24	»	32	»	36	»
8	936	»	52	»	69	»	78	»
9	1296	»	72	»	96	»	108	»
10	1512	»	84	»	112	»	126	»
11	1944	»	108	»	144	»	162	»
12	2772	»	168	»	224	»	252	»
13	3024	»	204	»	272	»	306	»
14	4320	»	240	»	320	»	360	»
15	6048	»	336	»	448	»	504	»
16	6912	»	384	»	512	»	576	»
17	7776	»	432	»	576	»	648	»
18	10584	»	588	»	784	»	882	»
19	11880	»	660	»	880	»	990	»
20	13176	»	732	»	976	»	1090	»

§. 72.

La troisieme opinion sur la figure de l'entonnoir, est qu'il soit un conoïde parabolique : c'est M. DE VALIERE qui l'a enseignée le premier. Entre les Ecoles d'Artillerie qui furent établies en France vers l'an 1716, celle de la Fere fut célebre, tant à

caufe de fon Chef, M. DE VALIERE, que par fon Profeffeur de Mathématiques, M. BELIDOR. Tous deux firent des épreuves relatives à l'Artillerie, & par conféquent auffi fur les mines. Elles donnerent peu de connoiffances nouvelles les premieres années; mais par la fuite, lorfque M. D'ABOUVILLE fut fait Chef de l'Ecole, on leur dut bien des découvertes utiles. Le premier fruit de ces épreuves, fut le Mémoire que M. BELIDOR inféra dans fon *Cours de Mathématiques*, en 1725, mais qu'il fupprima dans l'édition de 1757, & dont nous aurons encore lieu de parler dans la Section fuivante. Safeconde production fut la *Differtation fur les Mines de M. DE VALIERE*, que M. FOLARD ajouta à la troifieme Partie de fon *Commentaire fur POLYBE*. Ce qui en fait le fond, favoir la conftruction des contre-mines, aura fa place dans la Partie fuivante de ce Traité. Nous avons à parler ici de ce qu'elle renferme par rapport à la Théorie des mines.

§. 73.

Ce n'étoit qu'une expérience fouvent réitérée, à ce que dit M. DE VALIERE, qui lui fit venir la penfée d'attribuer la figure parabo-

lique, Fig. 3, à l'entonnoir. Il en mesura la profondeur AE, à plusieurs mines qu'il avoit fait jouer, & dont il connoissoit la ligne de moindre résistance, & trouva constamment, à ce qu'il assure, AC + 2 CE=CH. Il observa de plus, que cela arrivoit dans tout autre point *k*, où l'on fait une parallele à GH, & enfin il trouva toujours BD = 2 CF, toutes propriétés qui appartiennent à la parabole, & qui montrent assez évidemment que la courbe GBEDH en est une. Il en conclut sans hésiter, que l'entonnoir de la mine étoit un solide engendré par la révolution d'une demi-parabole GBE sur son axe AE, ou un paraboloïde. Quoiqu'il ne s'étende point dans l'ouvrage indiqué, à donner des instructions pour calculer la charge de poudre sur ce fondement, la Table qui en détermine la quantité, est suffisamment connue.

§. 74.

Elle est fondée sur les principes suivants. Il établit par l'expérience, qu'un fourneau de 10 pieds de ligne de moindre résistance, exige $93\frac{3}{4}$ livres de poudre; & parce que tous les entonnoirs plus ou moins profonds doivent garder la même proportion par rapport à la hauteur, & au diametre de la base qu'on

a remarquée à la mine d'épreuve, il s'enfuit que ce font tous des corps femblables, & que les charges font en raifon des cubes de la ligne de moindre réfiftance. Par cette maniere, & à l'aide de la mine d'épreuve dont on vient de faire mention, il a été dreffé la Table fuivante. Nous la rendons d'après M. LE FEBVRE; car, quoique d'autres, qu'on trouve imprimées, en different, il femble que celle-ci foit la plus jufte.

Ligne de moindre réfiftance.	*Charge de poudre.*		*Ligne de moindre réfiftance.*	*charge de poudre.*	
Pieds.	*Livres.*	*Onc.*	*Pieds.*	*Livres.*	*Onc.*
1	"	2	21	868	3½
2	0	12	22	998	4
3	2	8½	23	1140	10½
4	6	0	24	1296	0
5	11	11½	25	1558	9½
6	20	4	26	1647	12
7	32	2½	27	1815	4½
8	48	0	28	2058	0
9	68	5½	29	2286	7½
10	93	12	30	2530	4
11	124	10½	31	2792	4½
12	162	0	32	3072	0
13	205	15½	33	3369	1½
14	257	4	34	3680	12
15	316	4½	35	4019	8½
16	384	10	36	4074	0
17	460	9½	37	4748	12½
18	546	12	38	5144	4
19	643	½	39	5561	2½
20	750	0	40	6000	0

§. 75.

§. 75.

Quant à cette Table, il eſt aiſé de reconnoître que la figure de l'entonnoir n'y a aucune influence. Car la maxime, ſur laquelle, par le moyen de la mine d'épreuve, on a calculé la charge des autres mines, a lieu pour tout autre ſolide, & par conſéquent pour tout autre entonnoir. M. DE VALIERE auroit donc pu s'épargner ces recherches ſur la figure de l'entonnoir. Car ſi l'on devoit la mettre en ligne de compte, il faudroit en calculer le ſolide dans chaque cas particulier, & fixer la quantité de poudre qu'il faut pour le pied cube, afin de calculer par ce moyen la charge totale. C'eſt ce que M. BELIDOR a fait, eu égard à la Table ſuivante, où il donne encore 115 onces de poudre ſur 100 pieds cubiques.

Ligne de moindre résistance.	Solidité de l'Entonnoir.			Charge de Poudre.	
Pieds.	Pieds cubes.	Pouc.	Lignes.	Livres.	Onces.
1	1	10	1	»	$1\frac{270}{504}$
2	14	10	3	1	$1\frac{4}{7}$
3	67	»	7	3	$12\frac{4}{7}$
4	121	1	8	8	15
5	236	9	1	17	8
6	409	3	5	30	4
7	650	4	»	48	2
8	971	5	2	72	11
9	1380	2	11	102	»
10	1896	6	7	130	»
11	2514	6	3	186	»
12	3274	7	8	242	»
13	4163	11	11	308	»
14	5201	9	4	384	»
15	6398	6	8	473	»
16	7766	2	2	574	»
17	9315	10	11	689	»
18	11059	3	11	818	»
19	13007	7	1	963	»
20	15172	3	»	1123	»
21	17565	7	7	1300	»
22	20197	2	11	1495	»
23	23080	»	3	1709	»
24	26210	10	10	1940	»
25	29627	2	8	2193	»
26	33328	2	4	2467	»
27	37321	9	11	2763	»
28	41631	4	»	3083	»
29	46253	5	8	3425	»
30	51213	5	8	3793	»

Ligne de moindre résistance.	*Solidité de l'Entonnoir.*			*Charge de Poudre.*	
Pieds.	*Pieds cubes.*	*Pouc.*	*Lignes.*	*Livres.*	*Onces.*
31	56503	8	4	4185	»
32	62151	10	2	4602	»
33	68164	6	8	5049	»
34	74578	6	8	5519	»
35	81304	6	2	6026	»
36	88477	3	11	6544	»
37	96060	»	9	7114	»
38	104064	11	2	7708	»
39	112500	10	9	8328	»
40	121305	»	11	8985	»
41	130718	»	10	9654	»
42	140590	»	»	10367	»
43	150765	2	7	11176	»
44	161578	»	2	11968	»
45	172853	8	»	12803	»
46	184589	»	11	13574	»
47	196893	7	6	14583	»
48	209737	6	11	15535	»
49	223183	5	2	16531	»
50	337077	6	5	17560	»
51	251573	6	11	18654	»
52	266690	3	7	19754	»
53	282378	11	2	20916	»
54	298671	1	4	22076	»
55	315578	8	3	23377	»
56	333119	1	4	24675	»
57	351224	5	»	26016	»
58	370037	11	8	27409	»
59	389516	6	»	28852	»
60	409644	5	9	30342	»

§. 76.

Des diverſes opinions ſur la figure de l'entonnoir ci-devant (§. 50) indiquées, il ne nous reſte que celles de M. MULLER & de M. MELDERCREUZ. Pluſieurs ont oppoſé à M. DE VALIERE, qu'il falloit s'attacher à un paraboloïde tronqué, au-lieu d'un paraboloïde entier, quand il étoit queſtion du ſolide d'un entonnoir à enlever. M. BELIDOR (*) l'inſinua déja l'an 1725; & M. DE LA CHAPELLE, dans ſon *Traité ſur les Sections coniques*, l'a depuis répeté. Mais comme M. DE VALIERE, en calculant la charge de la poudre, ſe met ſi peu en peine de la figure de l'entonnoir, il pouvoit lui être indifférent laquelle des deux on vouloit recevoir. M. JOHN MULLER s'eſt fondé dans ſa Théorie des mines ſur la parabole tronquée ; mais certaine raiſon nous oblige de n'en traiter que dans la Section ſuivante.

§. 77.

Nous ne ferons que toucher ici l'opinion de M. MELDERCREUZ ſur la figure de l'entonnoir, parce qu'elle paroît aſſez obſcure, com-

(*) *Nouveau Cours de Mathématiques.*

me toute sa Dissertation sur cette matiere (*). Ce défaut est commun aux écrits de cet Auteur. Il faudroit le lui pardonner, si, après une lecture pénible, on en retiroit quelque chose dont on pût fairo usage; mais ce n'est point ici le cas, comme le démontrent assez les faux raisonnements qui sont partie de l'écrit mentionné. De plus, l'Auteur donne dans l'erreur dès le commencement, parce qu'il détermine la ténacité de la terre à rompre par la poudre, par la superficie de l'entonnoir; ce qui ne sauroit avoir lieu que dans le cas où l'entonnoir est chassé en entier au dehors; ce qui, autant que nous sachions, n'est nulle part arrivé par rapport aux mines construites sous terre.

§. 78.

Si l'on veut faire le parallele des Théories sur les mines comme on vient de les exposer, cela pourra se faire sous deux points de vue différents; premiérement, par rapport à la figure de l'entonnoir qu'on suppose ou qu'on croit avoir découverte, & en second lieu, par rapport à la maniere de proportion-

(*) *Vetensk. Academ. Handlingar. For Ar.* 1749, *Vol. X. p.* 306.

ner la charge pour une maſſe de terre donnée. Nous rendrons compte de ce que l'une & l'autre voie nous ont appris, quoiqu'on ne puiſſe s'en promettre beaucoup d'utilité.

§. 79.

Pour comparer enſemble les différentes figures qu'on a attribuées à l'entonnoir, il ne faudroit que toiſer l'entonnoir d'une ligne de moindre réſiſtance déterminée, comme, par exemple, de 10 pieds, ſelon la méthode ordinaire de calculer le contenu des ſolides, & puis de les comparer enſemble. Cependant afin d'avoir des expreſſions faciles pour la comparaiſon, nous les avons cherchées telles que la ſolidité ſe rapporte au cube de la ligne de moindre réſiſtance. Les voici :

1°. Si la ligne de moindre réſiſtance eſt $= k$, & la proportion du diametre à la circonférence comme $1 : p$, alors le contenu du cône dont la hauteur eſt la moitié du diametre de ſa baſe, ſera $= \frac{k^2 p}{d} \times \frac{k}{3} = \frac{p k^3}{3 d} = \frac{3.1415 k^3}{3} = 1.0471 k^3$; ce qui donne le ſolide de l'entonnoir FCG, Fig. 1, ſelon la penſée de M. de Vauban.

2°. Parce que M. Le Fevre prend l'entonnoir d'un ſeptieme plus grand que le

cône précédent, il ſuit qu'il ſera 1, 1967 k^3.

3°. La ſolidité du cône tronqué DFGE, Fig. 2, dont $FG = \frac{1}{2} DE$, ſe trouve $= \frac{1}{3} kp \times k^2 + \frac{1}{2} k^2 + \frac{1}{4} k^2 = \frac{1}{3} kp \times \frac{7}{4} k^2 = \frac{3,1415 \times 7 k^3}{12} = 1,8325\, k^3$; ce qui repréſente l'entonnoir de M. MEGRIGNI.

4°. On trouve le contenu du paraboloïde GBEDH, Fig. 3, ſi l'on multiplie la baſe par la moitié de la hauteur; mais il faut auparavant exprimer cette hauteur AE par la ligne de moindre réſiſtance. Pour les entonnoirs ordinaires $AH = AC = k$; donc $\overline{CH}^2 = \overline{AH}^2 + \overline{AC}^2 = 2\,\overline{AC}^2 = 2k^2$, & ainſi $CH = AF = \sqrt{2k}$. Mais la partie CF eſt $= AF - AC = \sqrt{2k^2} - k$, & $CE = \frac{1}{2} FC = \frac{\sqrt{2k^2} - k}{2}$, & par conſéquent $AE = AC + CE = k + \frac{\sqrt{2k^2} - k}{2} = \frac{1}{2} k + \frac{1}{2} k \sqrt{2}$. En multipliant la baſe $k^2 p$ par la moitié de cette hauteur, on aura le contenu du paraboloïde $= k^2 p \times \frac{1}{4} k + \frac{1}{4} k \sqrt{2} = \frac{k^3 p + k^3 p \sqrt{2}}{4} = \frac{p + p\sqrt{2} \times k^3}{4} = \frac{7.60727}{4} k^3 = 1,9243\, k^3$; ce qui eſt l'entonnoir de M. DE VALIERE.

5°. Pour calculer le paraboloïde tronqué GBDH, Fig. 3, il faut avoir recours à la formule que le calcul intégral fournit

pour une partie du paraboloïde comme AGHC compris entre les plans de deux cercles paralleles, la voici : $\frac{cp}{4r} \times m^2 - n^2$ (*) dans laquelle $r : c$ eſt la proportion du rayon à la circonférence, p le parametre de la parabole, & où $m = AE$ & $n = CE$. Qu'on exprime maintenant les grandeurs p, m & n par la ligne de moindre réſiſtance $AC = k$, &, par la propriété de la parabole, on aura $\frac{k^2}{k+n} = 4n$, $m = k + n$, & $p = 4n$; donc $m = \frac{1}{2}k + \frac{1}{2}k\sqrt{2}$, $n = -\frac{1}{2}k + \frac{1}{2}k\sqrt{2}$ & $p = -2k + 2k\sqrt{2}$; par conſéquent $p \times m^2 - n^2 = -2k^3\sqrt{2} + 2k^3\sqrt{2}\sqrt{2} = -1 + \sqrt{2} \times 2k^3\sqrt{2} = 2k^3 \times 2 - \sqrt{2}$; de même que $\frac{cp}{4r} \times m^2 - n^2 = \frac{c}{4r} 2k^3 \times 2 - \sqrt{2} = \frac{c}{2r} k^3 \times 2 - 1,4142.. = 1,8403\, k^3$; ce qui eſt l'entonnoir, à ce que prétend M. JOHN MULLER.

§. 80.

Si l'on place enſemble ces cinq expreſſions, & que l'on compare les coëfficients de k^3, on pourra juger de la grandeur des entonnoirs,

(*) *BEZOUT, Cours de Mathématiques à l'uſage de l'Artillerie. Tom. III. pag. 102.*

felon la figure différente que les différents Auteurs y ont attribuée. On remarquera que le cône donne le plus petit entonnoir & le paraboloïde le plus grand; de même que le cône tronqué ne differe pas beaucoup du paraboloïde tronqué : mais on inférera en général, que bien que tous s'accordent fur quelques déterminations de l'entonnoir, on ne laiffe pas d'y obferver des différences bien confidérables encore.

§. 81.

Si l'on envifage les théories expofées jufqu'ici relativement au calcul de la charge des mines (§. 78), on voit que les Auteurs fe partagent naturellement en deux claffes. Les uns fixent la quantité de poudre néceffaire à enlever une certaine maffe de chaque efpece de terre, & enfeignent d'y proportionner la charge à raifon de la maffe déja connue qui répond à l'entonnoir. Les autres, au contraire, fe fondent fur la charge d'une mine dont l'expérience leur a démontré la jufteffe par rapport à une certaine ligne de moindre réfiftance, & calculent quelle charge il faudroit, fi la ligne de moindre réfiftance étoit plus grande ou plus petite, en fuppofant que les charges font en raifon des nombres cubiques de la ligne de

moindre résistance. Nous passerons en revue chaque méthode en particulier.

§. 82.

Lorsqu'on dit que telle quantité de poudre est capable d'enlever telle quantité de terre, il se présente la question par quel moyen on est parvenu à l'apprendre. On ne le trouve nulle part indiqué; ainsi nous verrons de quelle maniere cela peut se faire. En premier lieu, on a pu éprouver autant de charges différentes qu'il en a fallu, pour déterminer lesquelles d'entre toutes formerent un entonnoir, dont la hauteur avoit la proportion desirée au diametre de sa base; & en calculant ensuite, selon la figure qu'on jugeoit à propos de lui donner, la grandeur de la masse de terre qui étoit enlevée, on pouvoit trouver, en comparant cette masse de terre à la charge, combien il en falloit pour une certaine partie de la masse. Si l'on admet la supposition que l'action entiere de la poudre est employée à enlever le solide de l'entonnoir, on n'a guere lieu de blâmer cette maniere de procéder. Mais on voit aisément qu'on cherche ici une chose par des détours, & qu'on auroit pu aller plus directement au but par la seconde maniere que nous avons exposée (§. 81).

§. 83.

En second lieu, on peut aussi avoir eu recours aux éprouvettes, pour savoir combien de poudre il falloit pour enlever une certaine masse de terre quelconque. Celles dont on se sert ordinairement, apprennent combien de poids une once de poudre peut enlever; mais comme cela n'aboutit qu'à comparer les différentes fortes de poudre, & qu'en enlevant un tel poids à une petite hauteur, on ne peut en conclure pour la masse à enlever dans une mine, il est à présumer que par l'une ou l'autre supposition, on s'est tiré d'embarras, afin d'en pouvoir déduire quelque conséquence. Peut-être a-t-on estimé qu'une certaine quantité de poudre, qui, par l'éprouvette, chassoit un certain poids à quelque pieds de hauteur, n'en pouvoit enlever que la moitié dans une mine; où on a supposé quelque chose de pareil. Tous les Auteurs gardent le silence sur la route qu'ils ont prise; cependant il est fort probable qu'on a usé d'une pareille méthode fort incertaine, parce que plusieurs avancent comme prouvé, qu'une once de poudre peut enlever un poids de 100 livres; & pour en faire l'application, ils détermi-

nent le poids du pied cube de la terre où l'on fait la mine, & montrent comment on trouvera la pesanteur totale du solide de l'entonnoir d'après la figure qu'on lui suppose, & en même-temps la charge qu'il demande; ce qui seroit assez juste, si le principe d'où l'on part étoit mieux établi.

§. 84.

La seconde méthode étoit, qu'au moyen de la charge donnée d'une mine d'épreuve, qui avoit formé un entonnoir rectangulaire, on calculoit les charges des mines plus ou moins profondes, selon la proportion des cubes des lignes de moindre résistance. Quoiqu'il soit aisé de s'appercevoir que toute la charge ne sauroit être uniquement employée à enlever la masse de terre, & qu'une partie s'en perd par l'effort opposé, cette méthode ne laisse pas d'être praticable, tant qu'on ne demande que des entonnoirs de la proportion susdite; car cette partie, déja comprise dans la charge de la mine d'épreuve, est également mise en ligne de compte pour les autres. En général, on s'égarera le moins par cette méthode, si l'on fait des mines d'épreuves dans toutes sortes de terreins, & qu'on marque bien leurs charges & les lignes de moindre résistance.

§. 85.

Si quelquefois on n'a pas manqué ſon but, en ſe ſervant des Tables ci-devant rapportées, la raiſon en eſt principalement, que les mines d'épreuve qu'on a priſes pour baſe, ont été bonnes, & que le calcul s'eſt fait de la maniere précédente. M. MEGRIGNI dit formellement qu'il faut ainſi calculer; M. DE VAUBAN calcule de la ſorte à ſon inſu, & M. DE VALIERE le fait également. On pourra donc toujours en faire uſage, ſi l'on eſt ſeulement aſſuré que la charge de la mine d'épreuve répond au terrein où l'on ſe propoſe de travailler, & qu'on ſe contente des entonnoirs rectangulaires.

§. 86.

Si l'on ſuppoſe, comme il eſt vraiſemblable, qu'on ait conſtruit les mines d'épreuves pour ces Tables ſur une ligne de moindre réſiſtance de 10 pieds, on peut alors juger de la différence des charges qu'on a employées. M. DE VAUBAN ne demande pour une telle mine que 82 livres de poudre, une autre fois 86; M. DE VALIERE, $93\frac{3}{4}$ livres; & M.

BELIDOR, dans une Table plus récente encore, 136 livres. La différente fermeté du ſol en eſt ſans doute la cauſe; car s'il n'en étoit point ainſi, on n'en pourroit donner de raiſon, à moins qu'on ne ſuppoſât que, dans les temps modernes, on eût fait la poudre moins forte que du paſſé; ce qui n'eſt point à préſumer.

§. 87.

Nous produirons encore à cette occaſion une Table de M. BELIDOR pour la charge des mines, uniquement calculée par la charge de la mine d'épreuve, ſans préſuppoſer une figure d'entonnoir. C'eſt dans cette Table qu'il compte 136 livres de poudre, comme nous venons de dire, ſur 10 pieds de ligne de moindre réſiſtance; cependant il ſemble que la mine d'épreuve ait été de 8 pieds de ligne de moindre réſiſtauce, où l'on a pris 70 livres pour la charge.



Ligne de moindre résistance.	Charge de poudre.		Ligne de moindre résistance.	Charge de poudre.	
Pieds.	Livres.	Onces.	Pieds.	Livres.	Onces.
1	»	$2\frac{3}{16}$	31	4072	»
2	1	$1\frac{1}{12}$	32	4480	»
3	3	11	33	4913	»
4	8	12	34	5373	»
5	17	1	35	5867	»
6	29	8	36	6364	»
7	46	14	37	6925	»
8	70	»	38	7502	»
9	99	»	39	8110	»
10	136	»	40	8730	»
11	181	»	41	9422	»
12	236	»	42	10129	»
13	300	»	43	10870	»
14	375	»	44	11646	»
15	461	»	45	12458	»
16	560	»	46	13307	»
17	685	»	47	14139	»
18	795	»	48	15120	»
19	937	»	49	16085	»
20	1093	»	50	17285	»
21	1264	»	51	18135	»
22	1455	»	52	19222	»
23	1663	»	53	20354	»
24	1884	»	54	21527	»
25	2136	»	55	22746	»
26	2406	»	56	24010	»
27	2691	»	57	25519	»
28	3001	»	58	26675	»
29	3335	»	59	28078	»
30	3691	»	60	29531	»

SECTION IV.

De quelques Théories nouvelles qui different en quelque forte des précédentes.

§. 88.

LEs épreuves de M. Megrigni font le fondement de toutes les Théories indiquées dans la Section précédente, bien que quelques-uns datent du temps qu'on en avoit déja de meilleures, & que le peu de justesse de ces épreuves fût démontré par de plus récentes. Autant il est aisé de proposer une Théorie quelconque sur un objet qui n'a point encore été traité, autant est-il difficile, lorsqu'il y en a déja une de répandue, d'en faire voir la fausseté, d'y en substituer une autre qui soit plus sûre, & de la porter au point d'être généralement reçue. Voilà ce qui arrive ordinairement dans bien des occasions; & c'est aussi le cas où s'est trouvé M. Belidor, par rapport à la Science des mines. Il est temps enfin qu'on se défasse des préjugés qu'on a entretenus jusqu'ici; & nous tâcherons d'y contribuer, en développant dans cette

cette Section & la suivante, les recherches de M. BELIDOR, dans leurs commencements & dans leurs progrès.

§. 89.

On fait qu'à l'institution de l'Ecole d'Artillerie à la Fere, M. BELIDOR, pour lors jeune Mathématicien, y fut créé Professeur en Mathématiques. Son occupation principale étoit d'en propofer la Théorie : mais convaincu que la connoissance la plus consommée de cette Science, sans une application à toutes sortes de cas, & en particulier, aux Sciences militaires, n'a qu'une valeur médiocre, il s'étudia soigneusement à perfectionner celles-là. Le service qu'il a rendu, tant aux Sciences de l'Ingénieur qu'à celles de l'Artilleur, est suffisamment connu, & ne sauroit être ignoré, tant on lui est redevable dans ces deux branches. Quant à la Science des mines, il ne mérite pas moins de reconnoissance, quelque peu de justice qu'on lui rende d'ailleurs.

§. 90.

Afin de ne pas enseigner seulement les Scien-

ces pratiques, mais auſſi d'en pouvoir montrer l'uſage, on conſtruiſit, aux environs de la Fere, le front de fortification qu'on appelloit le Polygone, où, par la ſuite, on entreprit toutes ſortes de travaux qu'on jugea à propos, de part & d'autre, dans l'attaque & la défenſe des Places. On fit jouer nombre de mines; & on pouvoit s'attendre de la part d'un homme tel que M. BELIDOR, qu'il ſe feroit appliqué à étudier ce méchaniſme particulier de la poudre, quand il ne nous l'auroit pas appris lui-même. Les épreuves de M. MÉGRIGNI, & la doctrine de M. DE VAUBAN, furent pour lors encore en eſtime; auſſi tout rouloit là-deſſus pendant les dix premieres années, ou peu au-delà : il n'eſt donc pas ſurprenant que l'expérience de tant d'années, comme dit M. BELIDOR lui-même, n'apprît que peu ou rien de nouveau.

§. 91.

Cependant M. BELIDOR communiqua déja, en 1725, quelques-unes de ſes propres idées, dans ſon *Cours de Mathématiques;* mais elles furent plutôt la production d'un raiſonnement réfléchi, que celle de l'expérience. En expoſant ſa penſée ſur le calcul de la charge

des mines, il passa sous silence les opinions de M. MEGRIGNI, reçues jusques-là sur l'effet de la poudre par les mines, quoiqu'il avoua dans la suite, que dès-lors elles lui paroissoient déja très-paradoxales. Il sembloit également admettre que le solide de l'entonnoir & la charge de poudre sont dans le rapport du poids à la puissance motrice; mais il voulut qu'en concluant d'une mine à une autre de plus ou moins de profondeur, on ne dût pas uniquement varier la charge selon la différence des lignes de moindre résistance, mais que dans ce cas on portât son attention sur quelque chose de plus.

§. 92.

Il est manifeste que la poudre enflammée doit vaincre la ténacité de la terre, avant que d'en pouvoir soulever la masse. Elle doit ainsi partager sa force, & en étendre une partie sur la cohésion, & l'autre sur la pesanteur des terres. M. BELIDOR propose, en conséquence, de construire tellement la mine d'épreuve, qu'en premier lieu on puisse reconnoître ce qu'il faut de poudre pour meurtrir la terre que contient l'entonnoir. Mais comme il étoit alors d'avis que la cohésion à rompre se re-

gle sur la superficie de l'entonnoir, laquelle est en raison des quarrés des côtés homologues des entonnoirs différents, mais semblables, tandis que la masse des terres à enlever se regle sur la solidité de l'entonnoir, qui augmente comme les cubes des côtés homologes, il veut que, moyennant la mine d'épreuve, on calcule sur ces principes la charge des autres mines, en faisant attention à ces deux circonstances.

§. 93.

Cette maniere de calculer se fait par les expressions générales que voici. Soit une mine, dont la ligne de moindre résistance est $= a$, qui a besoin d'une charge $= m + n$, dont m désigne les livres de poudre destinées à rompre la ténacité, & n celles qu'il faut pour enlever le poids des terres, & qu'on veuille savoir la charge p d'une mine dont b est la ligne de moindre résistance; que pour cet effet, on désigne la partie de la charge p, qui s'employe à la cohésion, par x, & parce que $a^2 : b^2 :: m : x$, on aura $x = \frac{m b^2}{a^2}$; soit encore la partie de la charge p, qu'il faut pour la masse des terres $= y$, parce que $a^3 : b^3 :: n : y$, on aura $y = \frac{n b^3}{a^3}$; mais comme $p = x + y$, on

aura $p = \frac{mb^2}{a^2} + \frac{nb^3}{a^3} = \frac{amb^2 + nb^3}{a^3} = \frac{b^2}{a^3} \times ma + nb$.

§. 94.

Si donc, par le moyen des épreuves, on avoit reconnu qu'une mine de 8 pieds de ligne de moindre réſiſtance, eût beſoin de 70 livres de poudre, c'eſt-à-dire, 50 livres pour vaincre la ténacité, & 20 pour enlever la maſſe des terres, on verroit aiſément, par la formule précédente, combien il en faudra pour une mine de 20 pieds de ligne de moindre réſiſtance, ſavoir $p = \frac{20^2}{8^3} \times \overline{50 \times 8 + 20 \times 20} = \frac{400}{512} \times 800 = \frac{320000}{512} = 625$ livres.

§. 95.

La différence de cette méthode, à celle où l'on calcule ſeulement ſelon les cubes des lignes de moindre réſiſtance, eſt à la vérité très-marquée : car d'après la proportion $8^3 : 20^3 = 512 : 8000 :: 70 : p$, on trouveroit la charge de 1094 livres de poudre; ce qui differe de 469 livres du réſultat précédent.

§. 96.

Cependant, la différence de ces deux ma-

nieres de fupputer la charge, n'eft pas telle, que celle de M. Belidor donne toujours moins que la maniere ordinaire; car il arrive bien fouvent tout le contraire. On s'en apperçoit clairement, fi l'on compare la Table (§. 87), calculée felon la méthode ufitée, à celle que nous allons donner au paragraphe fuivant; car on voit que la charge de la premiere eft moindre pour les mines d'un pied jufqu'à 7 pieds de ligne de moindre réfiftance, & qu'elle eft plus grande, pour les mines de plus de profondeur, que celle de la derniere, calculée d'après M. Belidor.

§. 97.

On n'a point eu jufqu'ici, autant que nous fachions, des Tables dreffées felon les principes de M. Belidor; ainfi la Table fuivante, qui dérive de cet Auteur même, méritera d'avoir ici fa place. L'expérence qu'on a prife pour bafe, eft la même dont nous avons fait ufage pour calculer l'exemple §. 94. Mais nous n'ofons pas décider fi M. Belidor fe fonde fur une épreuve, ou bien s'il parle d'une hypothefe, pour montrer la différence de fa méthode à celle qu'on avoit coutume de fuivre. Comme il employe les mêmes

grandeurs, dans le Mémoire qui fait partie de ſon *Cours de Mathématiques*, on pourroit donner quelque crédit à la derniere conjecture; mais alors on ne ſauroit concevoir pourquoi cette Table a été calculée ſi au long.

Ligne de moindre résistance.	Charge à vaincre la ténacité.		Charge à enlever le poids.		Charge totale.	
Pieds.	Livres.	Onc.	Livres.	Onc.	Livres.	Onc.
1	»	$12\frac{1}{2}$	»	$\frac{5}{8}$	»	$13\frac{1}{8}$
2	3	2	»	3	3	5
3	7	»	1	»	8	»
4	12	8	2	8	15	»
5	19	8	4	14	24	6
6	28	2	8	7	36	9
7	38	4	13	6	51	10
8	50	»	20	»	70	»
9	63	»	28	»	91	»
10	78	»	39	»	117	»
11	94	»	52	»	146	»
12	112	»	67	»	179	»
13	131	»	85	»	216	»
14	153	»	107	»	260	»
15	175	»	131	»	306	»
16	200	»	160	»	360	»
17	225	»	191	»	416	»
18	253	»	228	»	481	»
19	282	»	265	»	547	»
20	312	»	312	»	624	»
21	344	»	361	»	705	»
22	378	»	415	»	793	»
23	413	»	475	»	888	»
24	450	»	540	»	990	»
25	488	»	610	»	1098	«
26	528	»	686	»	1214	»
27	575	»	768	»	1343	»
28	612	»	857	»	1469	»
29	657	»	953	»	1610	»
30	703	»	1054	»	1757	»

Ligne de moindre résistance.	Charge à vaincre la ténacité.		Charge à enlever le poids.		Charge totale.	
Pieds.	Livres.	Onc.	Livres.	Onc.	Livres.	Onc.
31	750	»	1163	»	1913	»
32	800	»	1280	»	2080	»
33	850	»	1403	»	2253	»
34	903	»	1535	»	2438	»
35	957	»	1674	»	2631	»
36	1012	»	1822	»	2834	»
37	1069	»	1978	»	3047	»
38	1128	»	2143	»	3271	»
39	1188	»	2312	»	3500	»
40	1250	»	2500	»	3750	»
41	1313	»	2690	»	4003	»
42	1378	»	2893	»	4271	»
43	1444	»	3105	»	4549	»
44	1512	»	3327	»	4839	»
45	1582	»	3559	»	5141	»
46	1653	»	3802	»	5455	»
47	1725	»	4055	»	5780	»
48	1800	»	4320	»	6120	»
49	1875	»	4603	»	6478	»
50	1953	»	4883	»	6836	»
51	2032	»	5181	»	7223	»
52	2112	»	5492	»	7604	»
53	2196	»	5815	»	8011	»
54	2278	»	6150	»	8428	»
55	2363	»	6499	»	8862	»
56	2450	»	6860	»	9310	»
57	2536	»	7234	»	9770	»
58	2628	»	7621	»	10249	»
59	2719	»	8022	»	10741	»
60	2812	»	8437	»	11249	»

§. 98.

Si l'on construit une mine à l'ordinaire, c'est-à-dire si elle produit un effet convenable, on connoît toujours la charge totale, ou la somme de $m + n$ (§. 93.) : la difficulté est d'en découvrir chaque partie en particulier (*). M. BELIDOR crut surmonter cette difficulté, en proposant, comme nous avons déja fait voir (§. 92), de charger d'abord si foiblement la mine, qu'on n'en remarquât point les indices à la surface de la terre, & d'augmenter ensuite la charge, d'autant de poudre qu'il est nécessaire pour enlever le solide de l'entonnoir; mais M. LEHNBERG, Professeur de l'Ecole d'Artillerie à Stokholm, a fait la réflexion judicieuse, dans les écrits

(*) Dans le *Traité de la Défense des Places par les Contre-mines*, il est dit, pag. 217, » que la résistance qui » provient de la ténacité, est toujours plus grande que » celle qui provient du poids, si ce n'est dans les sables, » les terres nouvellement remuées, & autres corps sans » liaison ". Or, comme le sable pur ou gravier, qu'on suppose n'avoir aucune ténacité, peut entrer dans la composition des terres, en plus ou moins de quantité, il s'ensuit qu'il y a bien des terres mêlées avec du sable, dont la ténacité est moindre que le poids; ainsi l'assertion alléguée porte à faux. *Note du Traducteur.*

de l'Académie Suédoife (*), que la mine trop peu chargée, qui, de l'avis de M. BELIDOR, donneroit la partie m de la charge, ne la donne jamais féparément, mais qu'il y entre toujours quelque peu de la partie n. M. BELIDOR s'abufa affurément, en croyant que la force des poudres, dans une mine trop peu chargée, ne fût employée qu'à rompre la ténacité; car comment s'imaginer que la poudre enterrée, avant l'inflammation, à 10 pieds de profondeur, puiffe s'être fait jour jufqu'à la furface fupérieure, quand on y remarque des crevaffes, fans qu'elle ait employé une partie de fa force fur le poids de la maffe des terres ?

§. 99.

M. LEHNBERG montre enfuite, à l'endroit cité, la maniere d'apprendre avec précifion, par deux épreuves, ce que M. BELIDOR a voulu trouver par une, mais ce qu'il n'a point trouvé, fuivant fon obfervation. Si l'on s'eft fervi de la charge $= p$, pour un fourneau de la ligne de moindre réfiftance $= a$, & que, dans un terrein homogene, on

(*) *Svenska Vetenskaps Academ. Handlingar, for Ar.* 1749. *p.* 302.

ait employé la charge $=q$, pour un fourneau de la ligne de moindre résistance $=b$, il faut, selon lui, examiner si $q=\frac{b^3p}{a^3}$ ou $=\frac{b^2p}{a^2}$: si l'on trouve le premier, il sera évident que l'opinion commune est juste, savoir, que la charge n'a été employée qu'à enlever la masse de terre; si, au contraire, la seconde expression avoit lieu, on en pourroit inférer que le principal dans une mine, est de rompre la ténacité, & que l'enlevement des terres n'est qu'accessoire. Mais comme probablement l'expérience ne répondra à aucune de ces suppositions, on peut procéder de la maniere suivante, pour apprendre quelle partie de la charge p a été employée sur l'enlevement du solide de l'entonnoir, & combien il a fallu de cette charge pour la désunion de ses parties. Qu'on suppose que la partie de p, employée à l'enlevement, soit $=r$, alors la partie appliquée sur la désunion, sera $=p-r$; & en posant de même, que de la charge q il ait été employé la partie s à l'enlevement, la partie pour rompre la cohésion sera $=q-s$. On aura alors, selon la supposition de M. Belidor, $a^3:b^3::r:s$; donc $s=\frac{b^3r}{a^3}$, & de même $a^2\ b^2::p-r:q-s$, ou bien $a^2:b^2::p-r:q-\frac{b^3r}{a^3}$: ce qui donne cette équa-

tion, $b^2 p - b^2 r = a^2 q - \frac{b^3 r}{a^3}$: d'où l'on tire $r = \frac{a b^2 p - a^3 q}{\overline{a - b} \times b^2}$: mais comme d'ailleurs la partie de la charge, employée à rompre la cohésion, eſt $p - r = p - \frac{a b^2 p - a^3 q}{\overline{a - b} \times b^2}$, on la trouve par conſequent $= \frac{a^3 q - b^3 p}{\overline{a - b} \times b^2}$.

§. 100.

Pour comparer ce réſultat à des expériences, il nous en faudroit qui fuſſent faites dans des terres homogenes, & qu'on eût obtenu des entonnoirs dont la baſe & la hauteur fuſſent dans la même proportion; mais parmi tant d'épreuves, que nous avons ſous la main, aucune ne préſente un tel accord : c'eſt pourquoi nous ferons uſage de la Table (§. 97) de M. BELIDOR, par rapport à la charge de deux fourneaux de 8 & de 12 pieds de ligne de moindre réſiſtance, en ſuppoſant que les charges de 70 & de 179 livres qu'elle dicte, ſoient trouvées par des épreuves (*).

(*) L'Auteur pourſuit en diſant : » Et l'on verra du moins » que M. BELIDOR s'eſt abuſé par rapport à la ma- » niere de diſtribuer la charge de poudre, ſur la cohé- » ſion, & ſur l'enlevement de la maſſe des terres. Car

En faisant usage de la formule précédente, on trouvera, par rapport au premier fourneau, que 19 $\frac{1}{9}$ livres ont été employées à enlever la masse des terres, & 50 $\frac{8}{9}$ livres à rompre la ténacité; & par rapport au second fourneau, que 64 $\frac{1}{2}$ livres ont servi à l'enlevement des terres, & 114 $\frac{1}{2}$ livres à vaincre la ténacité.

§. 101.

(*) Il nous semble que, dans l'hypothese

» moyennant l'application de la formule précédente, on » trouve que, des 179 livres prises pour la charge d'une » telle mine, il a été employé 91 $\frac{27}{32}$ livres pour enlever la masse, & 87 $\frac{5}{32}$ pour rompre la cohésion; ce qui, » à beaucoup près, n'est point la même proportion de » M. BELIDOR, qui donne 67 livres pour produire » le premier effet, & 112 pour le second. ". Afin de ne point déparer la traduction de cet Ouvrage, nous avons tronqué ce raisonnement, fondé sur une erreur de calcul, & nous avons pris la liberté de mettre à sa place le resultat d'un calcul plus exact. *Note du Traducteur.*

(*) Au commencement de ce paragraphe, l'Auteur dit: » Il paroît ainsi, que, si M. BELIDOR étoit en droit » de supposer que la charge se distribue dans une pro» portion inégale sur la masse & sur la cohésion de » l'entonnoir, il a commis des erreurs dans l'application,

même de M. BELIDOR, (l'Auteur auroit pu ajouter, comme dans celui de M. LEHNBERG), il entre une erreur qui met tout hors d'usage. La vérité est, que lorsqu'un corps se rompt, la cohésion à vaincre se regle sur le plan de la rupture : aussi l'application de ce principe aux mines seroit juste, si le solide de l'entonnoir étoit chassé hors de l'excavation, comme la bombe hors du mortier ; c'est-à-dire, s'il n'étoit pas meurtri & morcelé. Mais personne n'ignore que ce n'est pas ici le cas : la masse enlevée des terres se divise dans une infinité de parties ; de sorte qu'elle retombe, comme des terres folles, en-dedans & à l'entour de l'excavation. De quel droit donc oseroit-on prétendre que la cohésion à vaincre par les différentes mines, dans un terrein homogene, soit comme les quarrés des côtés homologues, dans le cas où la cohésion n'est point vaincue dans un plan, mais dans un corps entier ?

» parce qu'il n'a pas pris la bonne voie par rapport aux » épreuves, pour en déduire la distribution de la charge. D'ailleurs " &c. Nous avons dû également supprimer cette période du texte de l'Ouvrage. *Note du Traducteur.*

§. 102.

Cependant cela ne détruit point la réputation de M. BELIDOR, vu que par ce moyen il a fait les premiers pas vers une théorie raisonnable, fur une matiere difficile & enveloppée d'erreurs. De plus, il n'a avancé cette fuppofition que comme une correction aux maximes établies, & il s'en eft défifté dès que plus d'expérience le fit penfer autrement fur ce fujet. C'eft fouvent le fort de l'entendement humain, d'aller droit à la vérité à-travers les erreurs; auffi ces idées, bien qu'elles ne foient pas exactement juftes, ne laiffent pas d'être de valeur, parce que nous leur devons celles qui le font davantage.

§. 103.

C'eft ce qu'il raconte lui-même, dans fa *nouvelle Théorie des Mines*. D'abord que le Mémoire ci-devant mentionné fut envoyé au Miniftre de la Guerre, celui-ci obtint l'ordre de faire exécuter les épreuves qui y font propofées. „ Lors donc, dit M. BELIDOR „ (*) qu'en 1725 nous fîmes des expériences, „ afin

(*) Dans les copies de fa *Théorie des Mines*, où fe trouvent

„ afin d'eſtimer la quantité de poudre qu'il
„ falloit pour vaincre la ténacité des terres
„ qu'une mine devoit enlever indépendamment
„ de leurs poids, il eſt arrivé qu'en faiſant
„ ces épreuves, un fourneau qui étoit chargé
„ de 300 livres, & qui n'avoit que 10 pieds
„ de ligne de moindre réſiſtance, (le terrein
„ ne demandant que 170 livres pour un en-
„ tonnoir ordinaire) fit un entonnoir, dont
„ le diametre avoit 27 pieds 3 pouces au-lieu
„ de 20; un autre fourneau qui avoit 15 pieds
„ de ligne de moindre réſiſtance chargé de
„ 980 livres, fit un entonnoir dont le diame-
„ tre ſe trouva de 40 pieds 2 pouces, par
„ conſéquent d'environ 10 pieds plus que
„ de coutume ; d'autres fourneaux que l'on
„ fit jouer pour le même ſujet, donnerent
„ auſſi des entonnoirs plus ou moins grands
„ que le double de la ligne de moindre réſiſ-
„ ſtance, ſelon qu'ils étoient plus ou moins
„ chargés. C'eſt alors que je fus pleinement
„ convaincu, que plus une mine étoit char-
„ gée, & plus les entonnoirs devoient être

trouvent bien des détails hiſtoriques, qui n'étoient pas à leur place lorſqu'elle fut imprimée dans les écrits de l'Académie des Sciences de Paris.

„ grands," loin d'aller en diminuant, comme M. MÉGRIGNI crut s'en être apperçu.

§. 104.

En conféquence de ces découvertes, il commençoit à réflechir férieufement fur l'action de la poudre enflammée dans la terre, & il acheva, à cette occafion, fa *nouvelle Théorie fur les Mines;* il ne la remit qu'en 1756 à l'Académie des Sciences, dont il étoit devenu l'Affocié, qui la fit imprimer parmi fes écrits. Afin de ne rien publier au-delà de ce qui étoit fuffifamment conftaté par des épreuves, il en entreprit un grand nombre à fes depens dans la campagne d'un de fes amis; mais il ne les a jamais données dans fes écrits, parce qu'il ne vouloit rien avancer en public, que ce dont il pouvoit en appeller à tous les Officiers de la Fere, comme à des témoins oculaires. Quelque difpofé d'ailleurs que M. BELIDOR fût à communiquer fes vues, il fuppprima cette découverte, & fe contenta d'en faire entrevoir quelque chofe dans fa théorie fur la poudre à canon (*).

(*) *Œuvres diverfes de M.* BELIDOR, *p.* 233.

§. 105.

Cependant son opinion hétérodoxe étoit déja connue en 1729, par des copies qui roulerent de son premier écrit, & M. Belidor s'attira par-là toutes sortes de petites contestations, en particulier sur ce qu'il contredisoit M. Megrigni. Afin de terminer ces disputes, M. le Chevalier d'Abouville, Commandant de l'Ecole à la Fere, ordonna de faire les épreuves requises. On construisit nombre de mines surchargées, dans des terreins dont on savoit déja combien il falloit de poudre, afin de rendre des entonnoirs rectangulaires, & l'on a trouvé constamment, que l'évasement des entonnoirs va en augmentant, dès que la charge est augmentée.

§. 106.

De toutes ces épreuves on a seulement gardé le souvenir de douze, que nous avons réduites à la Table suivante. Les trois especes de terreins où furent construit les fourneaux, étoient 1°. une terre jaunâtre & sablonneuse; 2°. un sable mêlé de tuf assez dur; & 3°. une terre glaise extrêmement forte.

Epreuves faites à la Fere, en 1725 & 1729.	Ligne de moindre résistance.	Espece de terre.	Charge de poudre.	Diametre de l'Entonnoir.	
N°.	Pieds.		Livres.	Pieds.	Pouces.
1	10	2	300	27	3
2	15	2	980	40	2
3	10	1	120	22	8
4	10	1	160	26	0
5	10	1	200	28	9
6	10	1	240	31	3
7	10	1	280	33	6
8	10	1	320	36	0
9	10	1	360	38	6
10	15	2	3600	70	0
11	15	3	2400	53	6
12	10	2	1000	45	4

§. 107.

La 1re. & 2e. mine ont été exécutées en 1725, & elles ont donné occasion aux autres (§. 103). La 3e. jusqu'à la 9e, font celles que le Commandant de l'Ecole d'Artillerie fit entreprendre pour mettre fin aux disputes. M. Belidor en fait mention dans les Copies de sa *Nouvelle Théorie des Mines;* mais il ne donne pas les diametres de la 6e., 7e. & 8e. qui font empruntées de M. Muller. Celui-ci parle encore, en témoin oculaire, d'une mine chargée de 1000 livres, qui chassa les débris à environ un mille (apparemment de

France) à la ronde ; mais il garde le ſilence ſur d'autres circonſtances : peut-être que c'eſt la douzieme. Les trois dernieres ſe trouvent dans les exemplaires imprimés de la *Théorie des Mines*, où il n'eſt pas dit un mot d'aucune des précédentes, tandis que la dixieme & la onzieme manquent dans les copies.

§. 108.

Ces épreuves devroient ſuffire à mettre au jour la fauſſeté des expériences de M. MEGRIGNI, quelques prix qu'elles puiſſent encore avoir parmi les Mineurs de la France & d'ailleurs. Nous venons d'obſerver que c'eſt ſur ces épreuves, que M. BELIDOR fonde ſa *Nouvelle Théorie ;* nous en traiterons, comme auſſi de ce que l'expérience lui a appris en outre, dans la Section ſuivante. Dans celle-ci, nous allons encore rendre compte de la Théorie que M. MULLER, ci-devant Profeſſeur de l'Académie d'Artillerie à Woolwich, a publiée, après avoir aſſiſté aux épreuves de la Fere. Elle renchérit, on n'en ſauroit diſconvenir, ſur celles qu'on a connues juſques-là ; mais, ſelon nous, elle eſt inférieure à la Théorie de M. BELIDOR.

§. 109.

M. MULLER (*) regarde l'entonnoir (§. 50) comme un paraboloïde tronqué, & ne s'attache qu'à lui trouver une expression facile ; à l'aide de laquelle il puisse ensuite calculer les diametres, plus ou moins grands, des entonnoirs qu'on obtient par la variété des charges ; & c'est en quoi consiste l'avantage de sa Théorie. Il la trouve, cette expression, de la maniere qui suit. Soit la proportion du diametre à la circonférence $1 : p$, on aura la base du paraboloïde (Fig. 3.) $GEH = 2p \times \overline{AH}^2$, & sa solidité $p\,\overline{AH}^2 \times AE$. De même, on trouve la base du paraboloïde $BED = 2p \times \overline{CD}^2$, & sa solidité $p\,\overline{CD}^2 \times CE$; donc le paraboloïde tronqué sera $= p\,\overline{AH}^2 \times AE - p\,\overline{CD}^2 \times CE$. A présent, si l'on nomme m la ligne de moindre résistance AC, & n l'approfondissement dessous la chambre CE, & qu'on substitue à la place de $\overline{AH}^2$ & $\overline{CD}^2$, les valeurs qui leur conviennent, comme desordonnées d'une parabole dont le parametre $= a$,

(*) *The Attac. and Defense of fortified Places*, by JOHN MULLER, *London*, 1757, 8vo., où l'on trouve *p.* 206-247, le *Traité des Mines* du même Auteur.

l'expreſſion précédente du paraboloïde tronqué ſe changera dans celle-ci, $pa \times \overline{m+n}^2 - \overline{pan}^2 = pam \times m + 2n$. Enfin, qu'on déſigne AF $= m + 2n = \sqrt{\overline{AH}^2 + \overline{AC}^2}$, par b, & qu'on ſupprime p comme une grandeur conſtante & inutile à l'équation, on aura la ſolidité du paraboloïde tronqué $= amb$, comme l'expreſſion la plus courte, ou $= ab$, ſi les lignes de moindre réſiſtance ſont égales.

§. 110.

Si l'on veut faire uſage de cette formule, il eſt clair qu'on doit avoir fait une mine d'épreuve dans le même terrein où l'on veut travailler, & qu'il en faut connoître la charge de poudre, la ligne de moindre réſiſtance, & le dîametre de l'entonnoir. Si l'on veut garder la même ligne de moindre réſiſtance, on peut varier la charge ; & dans ce cas, il s'agit de ſavoir le diametre de l'entonnoir : ou bien, ſi l'on demande un autre diametre d'entonnoir, il ſera queſtion de régler la charge à cet effet. Comme ces mêmes cas peuvent arriver ſi l'on change de ligne de moindre réſiſtance, il en réſulte, que cela donne lieu à quatre problêmes, dont nous rendrons la ſolution ſuivant l'ordre indiqué.

§. 111.

Si l'on garde la ligne de moindre résistance de la mine d'épreuve, & qu'on change de charge, trouver le diametre de l'entonnoir. Solution. Comme il est prouvé, qu'une charge plus ou moins grande donne un entonnoir plus ou moins grand, on trouvera la solidité de l'entonnoir de la mine à construire, en cherchant une quatrieme proportionnelle à la charge connue de la mine d'épreuve, la charge donnée de la mine à faire, & la solidité connue de l'entonnoir de la mine d'épreuve. Soit la solidité trouvée de cette maniere $= s$, on aura, selon l'expression générale, $s = ab$ (§. 109) : mais puisque, par la propriété de la parabole $b = m + \frac{a}{2}$, on a aussi $s = a \times m + \frac{1}{2} a$. Dans cette équation tout est connu, à l'exception de a qu'on peut trouver. Car comme $s = a \times \overline{m + \frac{1}{2} a} = ma + \frac{1}{2} a^2$, on a $a^2 + 2\,ma = 2\,s$, donc $a = \sqrt{2s + m^2} - m$, & puisqu'en outre le rayon $AH = r$, comme ordonnée de la parabole, a cette propriété que $r^2 = a\ AE$, & que $AE = m + \frac{1}{4} a$, on aura $r = \sqrt{a \times m + \frac{1}{4} a}$ ou le rayon, & conséquemment aussi le diametre entier.

§. 112.

Exemple. On peut envifager une des expériences citées (§. 106), comme mine d'épreuve, & calculer le diametre d'une autre mine de la Table, à pareille ligne de moindre réfiftance. La troifieme mine qu'on y trouve, fut chargée à 120 livres de poudre, & avoit un entonnoir de $22\frac{2}{3}$ pieds de diametre. Que l'on toife d'abord cet entonnoir, & qu'on cherche, pour cet effet, la valeur de a & de b. Comme on a $b = \sqrt{r^2 + m^2} = \sqrt{11,4^2 + 10^2} = \sqrt{229,16} = 15,16$ pieds, & qu'on a également $a = 4\ n$ & $b - m = 2\ n$, on aura $a = 2 \times \overline{b - m} = 2 \times \overline{15,16 - 10} = 2 \times 5,16 = 10,32$ pieds, & on trouve le contenu de l'entonnoir de la mine d'épreuve $= ab = 15,16 \times 10,32 = 156,5$. Or puifque la quatrieme mine, que nous confidérons comme à conftruire, fut chargée de 160 livres, on obtient la folidité de fon entonnoir par cette analogie, $120 : 160 :: 156,5 : s$, donc $s = \frac{160 \times 156,5}{120} = 208\frac{2}{3}$. Si l'on fubftitue cette valeur & celle de la ligne de moindre réfiftance dans la formule $a = \sqrt{2s + m^2} - m$, on trouvera $a = 12$,

7 & $\frac{1}{4}$ a environ $= 3, 2$; donc $m + \frac{1}{4}\ a =$ 13, 2, & par conſéquent $r = \sqrt{a \times m + \frac{1}{4} a}$ $= \sqrt{12,7 \times 13,2} = \sqrt{176,64} = 13, 2$. Le double de ce nombre donne le diametre de la mine à conſtruire $= 26, 4$ pieds, ou 4 pouces au-delà de ce que l'expérience a donné (§. 106); ce qui eſt une différence peu importante, vu les épreuves auſſi groſſieres que celles qui ſe font par des mines.

§. 113.

Si en conſervant la ligne de moindre réſiſtance de la mine d'épreuve, on deſire un entonnoir dont le diametre ſoit d'une meſure quelconque, plus ou moins grande que celui de la mine d'épreuve, quelle charge de poudre faut-il pour cela? Solution. Puiſque la ligne de moindre réſiſtance, auſſi bien que le diametre de l'entonnoir, ſont connus, on peut trouver $b = \sqrt{m^2 + r^2}$, de même que a $= 2 \times b - m$, & par conſéquent la ſolidité de l'entonnoir $s = a\,b$. Mais parce que la ſolidité de l'entonnoir de la mine d'épreuve & la charge qu'on a employée ſont connues, on obtient la charge de la mine à conſtruire, en cherchant une quatrieme proportionnelle à la ſolidité de l'entonnoir de la mine d'épreuve,

la solidité de l'entonnoir de la mine à construire, & la charge de la mine d'épreuve.

§. 114.

Exemple. La solidité de l'entonnoir de la troisieme mine étoit (§. 112) = 156, 5 & sa charge = 120 livres; on demande la charge de la quatrieme, dont le diametre est de 26 pieds. On commence par chercher la solidité de cet entonnoir; pour cet effet, on trouve $b = \sqrt{m^2 + r^2} = \sqrt{100 + 169} = 16,4$; & $a = 2 \times b - m = 2 \times \overline{16,4} - 10 = 12,8$; & la solidité de l'entonnoir $= s = a\,b = 16,4 \times 12,8 = 209,29$. Ensuite on dit : comme 156, 5 est à 209, 29, ainsi 120 à la charge demandée, qu'on trouve de 160, 96 livres; ce qui n'est pas encore une livre au-delà de celle dont on a usé pour la quatrieme épreuve.

§. 115.

Supposé qu'on a varié la charge de poudre & la ligne de moindre résistance de la mine d'épreuve, on demande le diametre de l'entonnoir à former dans ce cas. La solution ne differe guere de celle du §. 111. Par le §. 109, on a ici $s = a\,m\,b$; & si au-

lieu de b on ſubſtitue ſa valeur $m + \frac{1}{2} a$, on aura $s = a m \times \overline{m + \frac{1}{2} a}$, & on en tire l'équation $a^2 + 2 ma = \frac{2s}{m}$, & en procédant comme il faut, on aura $a = \sqrt{\frac{2s}{m} + m^2} - n$; mais parce qu'on a $r = \sqrt{a \times \overline{m + \frac{1}{4} a}}$, on peut trouver de cette maniere le diametre de la mine à conſtruire, ou la valeur de $2r$.

§. 116.

La premiere & la ſeconde mine (§. 106) peuvent faire exemple. La premiere, conſidérée comme mine d'épreuve à 10 pieds de ligne de moindre réſiſtance, étoit chargée à 300 livres de poudre, & formoit un entonnoir de 27,25 pieds de diametre ; parce qu'on a $m = 10$, $b = \sqrt{r^2 + m^2} = \sqrt{13{,}62^2 + 10^2} = 16{,}88$ & $a = 2 \times b - m = 13{,}76$, on aura la ſolidité de cet entonnoir $amb = 2322{,}688$. La mine qu'on veut conſtruire, aura une ligne de moindre réſiſtance de 15 pieds, & 980 livres de poudre pour ſa charge ; donc la quatrieme proportionelle de 300, de 980, & de 2322, 688, ſera la ſolidité de ſon entonnoir, ou $s = 7587{,}48$; enſuite par la formule $a = \sqrt{\frac{2s}{m} + m^2} - m = 20{,}16$, & par $r = \sqrt{a \times \overline{m + \frac{1}{4} a}}$, on trouve le rayon de l'enton-

noir $= 20, 2$, & ainſi le diametre $= 40, 4$ pieds, qui, felon la feconde expérience (§. 106), étoit de 40 $\frac{1}{2}$ pieds.

§. 117.

La ligne de moindre réſiſtance, le diametre de l'entonnoir & la charge de la mine d'épreuve étant connues, on veut ſavoir la charge d'une mine, qui, avec une ligne de moindre réſiſtance différente de la précédente, forme un entonnoir d'un diametre donné. Solution. Qu'on cherche la ſolidité de l'entonnoir de la mine d'épreuve : enſuite par les grandeurs déterminées m & r de la mine à conſtruire, on trouvera la valeur de $b = \sqrt{r^2 + m^2}$ & de $a = 2 \times b - m$, de même que de $s = a\,m\,b$, ou la ſolidité de l'entonnoir de la mine à conſtruire. La quatrieme proportionnelle à l'entonnoir de la mine d'épreuve, celui de la mine à conſtruire, & la charge de la mine d'épreuve, donnera la charge requiſe.

§. 118.

Exemple. Soit la charge de la mine d'épreuve (§. 106. 1) de 300 livres, & la ſolidité de ſon entonnoir $= 2322, 688$: & ſuppoſons qu'il faut conſtruire une mine à la ligne de moin-

dre résistance de 15 pieds, qui formera un entonnoir de $40\frac{1}{6}$ pieds de diametre. Dans ce cas, on aura $b = \sqrt{15^2 + 20{,}08^2} = 25{,}06$, & $a = 2 \times 25{,}06 - 15 = 20{,}12$; ainsi $s = 20{,}12 \times 15 \times 25{,}06 = 7563{,}108$. Le quatrieme terme de 2322, 688 : 7563, 108 :: 300 : x donne la charge de poudre qu'on cherche = 976, 85 livres; ce qui fait une différence qui ne passe guere les trois livres.

§. 119.

Moyennant ces problêmes & leur solution, on peut en effet fournir à presque tout ce qu'on peut demander sur la construction des mines, même au-delà de ce qu'on exige ordinairement; mais il est clair que les calculs ne sont pas de nature à être aisément appliqués dans les lieux où l'on en a besoin, & il faudroit pouvoir s'en passer par le moyen des Tables calculées d'avance. Pour cet effet il s'agiroit de faire, dans tous les differents terreins qu'on rencontre, des mines d'épreuve, dont on connût au juste les charges & les lignes de moindre résistance, & on devroit mesurer, avec beaucoup d'exactitude, les diametres des entonnoirs après le jeu des mines. La forme qu'on donneroit aux Tables dressées sur ces

principes feroit telle, que la ligne de moindre résiſtance, depuis 5 pieds jusqu'à 20, en fût l'inſcription, que la différente grandeur des entonnoirs fît la premiere colonne, & qu'à côté ſe trouvât chaque charge qui y appartient. On voit d'abord comment, à l'aide du ſecond & quatrieme problême (§. 113. 117), on peut faire le calcul de ces Tables moyennant les mines d'épreuve.

§. 120.

L'Auteur de cette Théorie a donné un échantillon de ces ſortes de Tables. D'après l'expérience de M. DE VALIERE, une mine de 10 pieds de ligne de moindre réſiſtance, a beſoin d'une charge de 93 $\frac{3}{4}$ livres de poudre, pour faire un entonnoir rectangulaire. Comme le diametre eſt ici de 20 pieds, on avoit à calculer comment la charge doit s'augmenter, ſi le diametre va en augmentant de 2 à 2 pieds, en commençant de 20, & en montant juſqu'à 80. Voici la forme de cette Table.

Charge des Mines de 10 pieds de ligne de moindre réſiſtance.

Diametre de l'Entonnoir.	Charge.	Diametre de l'Entonnoir.	Charge.	Diametre de l'Entonnoir.	Charge.
Pieds.	*Livres.*	*Pieds.*	*Livres.*	*Pieds.*	*Livres.*
20	93 3/4	42	639	64	1621
22	150	44	711	66	1741
24	181	46	773	68	1842
26	217	48	857	70	1980
28	255	50	946	72	2098
30	297	52	1020	74	2243
32	344	54	1115	76	2372
34	394	56	1205	78	2501
36	452	58	1299	80	2648
38	502	60	1406		
40	560	62	1518		

§. 121.

Dans le cas où M. DE VALIERE auroit ſi bien décrit l'eſpece de terrein qui demande la charge indiquée, qu'on pût la retrouver, on auroit pu étendre avec fruit cette Table ſur toute autre dimenſion de la ligne de moindre réſiſtance. Car il eſt manifeſte que cela auroit pu ſe faire à l'aide du 4e. problême (§. 117), & les Tables pour ce terrein auroient été completes. On ſent bien qu'il en faudroit conſtruire de ſemblables pour chaque autre terrein.

rein. Mais comme le cas eſt tel, que l'expérience de M. DE VALIERE ne ſauroit ſervir, c'en eſt aſſez de celle qu'on vient de rapporter.

§. 122.

La juſteſſe de la Théorie de M. MULLER ſaute déja aux yeux, parce qu'elle approche aſſez près des expériences, témoin les exemples que nous avons donnés : auſſi n'eſt-il pas douteux qu'il n'en ſoit ainſi dans tous les autres cas ; & nous ajouterons, pour preuve de ceci, les diametres des mines depuis N°. 4 juſqu'à N°. 9, (§. 106) d'après le calcul, en faiſant la comparaiſon avec ceux qu'on a trouvés par le meſurage.

Numero des Mines. (§. 106.)	*Diametres meſurés.*	*Diametres calculés.*	*Différence.*
N°.	*Pieds.*	*Pieds.*	*Pieds.*
4	26,	26, 4	0, 4
5	28, 75	28, 64	0, 11
6	31, 33	31, 2	0, 13
7	33, 5	33, 2	0, 3
8	36,	35, 3	0, 7
9	38, 5	37, 4	1, 1

Ces différences ne font pas en effet fi fenfibles, qu'on ne pût aifément les fouffrir, eu égard à des épreuves comme le font celles qu'on fait fur les mines. De plus, M. MULLER & M. BELIDOR ne font pas d'accord fur l'effet de la mine qui préfente la plus grande différence, en ce que le premier donne au diametre mefuré un demi-pied de moins, par où la différence diminue fur 0, 6 pieds. Cependant il y a d'autres raifons qui empêchent de s'en tenir à cette théorie.

§. 123.

En premier lieu, nous croyons toute théorie des mines mal fondée, fi, comme dans celle-ci, la figure de l'entonnoir y a de l'influence. La difparité des opinions de plufieurs hommes, qui ne manquoient pas d'expérience, rend abfolument douteux fi jamais on parviendra à déterminer au jufte la figure de l'entonnoir; car l'opinion de la figure parabolique eft encore très-incertaine. Suppofons que M. LE FEBVRE ait rendu avec précifion la figure de l'entonnoir de la mine qu'il a conftruite l'an 1754 à Potsdam; en voici les dimenfions: la ligne de moindre réfiftance $= 15$ pieds, le diametre de l'entonnoir $= 66$ pieds,

la profondeur de l'entonnoir = 18 pieds, & le diametre de l'entonnoir qui paſſe par le centre du fourneau ſelon le deſſin, = 33 pieds. Si la coupe de cet entonnoir étoit une parabole, l'approfondiſſement deſſous le fourneau qui n'eſt que de 3 pieds, devroit être de 10, 17 pieds, comme il s'enſuit des propriétés connues de la parabole. La différence ſi marquée du calcul à l'expérience, fait douter avec raiſon, que la figure parabolique ſoit celle de l'entonnoir. En ſecond lieu, nous n'approuvons pas la prolixité de calcul que cette théorie accompagne, qui, ſans l'être trop en elle-même, ne laiſſe pas d'avoir des difficultés pour ceux à qui on doit deſtiner une théorie des mines. Cependant on convient volontiers que cette raiſon ſeule ne doit point faire abandonner cette théorie. Mais dans le cas où il y en auroit une de plus ſimple, plus courte & plus juſte, il paroît que non ſeulement elle feroit admiſſible, mais même néceſſaire. Qu'effectivement il y ait une telle théorie, c'eſt ce dont nous eſpérons convaincre nos Lecteurs dans la Section ſuivante.

I ij

SECTION V.

Théorie de l'effet de la Poudre dans les Mines, en partie conforme aux expériences & aux principes de M. BELIDOR.

CHAPITRE I.

De l'effet général de la Poudre enfermée dessous la Terre.

§. 124.

L'EFFET général de la poudre, quoiqu'un ſecret pendant bien des ſiecles, même pour ceux qui la manioient journellement, a été non-ſeulement découvert par les recherches de pluſieurs Phyſiciens ingénieux du ſiecle préſent, mais on a même calculé la grandeur de cet effet. M. JEAN BERNOULLI montra le premier, ſur la ſin du ſiecle paſſé, que dans tous les corps, il y a un air comprimé, & que la force de la poudre en émane principalement. M. DANIEL BERNOULLI fils, développa cette idée, relativement à la poudre, en 1738, dans ſon *Hydrodynamique* : indépendamment de cela,

M. Robins, qui écrivit six ans après, fut regardé comme le premier qui fournit sur cette matiere quelque chose d'utile. Ce fut en partie la raison pour laquelle son écrit eut le bonheur d'être traduit dans les principales langues de l'Europe, & qu'en particulier la traduction Allemande fut enrichie des additions de M. Euler. Dans la France, M. le Chevalier d'Arcy se remit sur la voie de M. Robins, & M. Lambert tira des inductions importantes de la comparaison de leurs recherches. Enfin, MM. le Comte de Saluce & le Directeur d'Antoni ont tant ajouté aux découvertes des précédents Ecrivains, par des expériences de chymie & de méchanique, que la matiere paroît suffisamment traitée, & qu'il n'est question que de son application dans l'Artillerie pratique.

§. 125.

Comme nous osons poser en fait que les principaux écrits de ces Savants sont entre les mains de nos Lecteurs, ce seroit entrer dans un détail inutile, que de traiter l'action de la poudre en général, d'autant plus que presque tout ce qui est d'usage, par rapport à ce que nous en savons, se fonde sur des épreu-

ves faites par les bouches à feu, & que par conséquent l'application s'en réduit presque uniquement à leur emploi. Nous allons donc commencer tout de suite par considérer l'effet de la poudre enfermée dans la terre.

§. 126.

Ces considérations auroient trop d'étendue, si l'on vouloit tout embrasser à la fois, & avoir égard à toutes les circonstances : aussi nous ferons d'abord les restrictions suivantes. En premier lieu, supposons que le terrein où la poudre doit opérer, soit par-tout homogene. On n'ignore pas que généralement l'écorce de la terre consiste dans de différentes couches, lesquelles ne gardent pas partout le même ordre, & sont d'inégale épaisseur. Dans la construction réelle des mines, on ne sauroit nullement perdre de vue ces couches, pour peu qu'il soit possible de prendre connoissance de leur nature : mais, par la raison alléguée, nous faisons abstraction de leur influence sur l'effet de la poudre, & nous regarderons la terre jusqu'à la profondeur où s'étend l'effet des mines, comme parfaitement homogene.

§. 127.

La ſeconde reſtriction porte ſur la figure des coffres & chambres des mines. Comme l'action de la poudre, ainſi qu'il eſt ſuffiſamment connu, s'étend circulairement dans les terres à une diſtance conſidérable, on a coutume d'envifager cette action comme prenant naiſſance dans un point. On approcheroit le plus près de cette ſuppoſition dans la pratiqne, ſi l'on donnoit une figure ſphérique à la chambre; mais comme cela auroit ſes difficultés, particuliérement eu égard à la conſtruction des coffres, & que d'ailleurs les polyedres qui different le moins de la ſphere, n'en ſont non plus exceptés, on donne vulgairement au coffre la figure cubique. C'eſt auſſi pourquoi nous ſuppoſerons d'abord cette figure, quoique dans la ſuite nous ne laiſſerons pas de faire obſerver les avantages qu'on peut retirer de ce que dans quelque cas on s'écarte de cette figure.

§. 128.

Si nous diſons qu'une certaine quantité de poudre, enfermée dans la terre, ait été en-

flammée de façon ou d'autre, il faut donc sous-entendre les restrictions susdites. Mais afin de mieux pouvoir déterminer l'effet qui en résulte, nous ferons au commencement abstraction de la circonstance accidentelle que l'effet doive se montrer à la surface supérieure, en imaginant que la quantité indéterminée de poudre soit placée dessous la surface de la terre, à telle profondeur, que les suites ne peuvent s'y présenter. Il est vrai que le plus souvent, dans l'usage réel des mines, on demande directement le contraire, & que cette circonstance ne semble rien moins qu'accessoire : néanmoins elle l'est effectivement, tant qu'il s'agit en général de l'effet de la poudre enfermée dans la terre; & l'on verra dans les Chapitres suivants, que cette supposition nous conduit à des principes généraux, qui même ont une grande influence sur le cas dont il est question.

§. 129.

Si l'on met le feu à une certaine quantité de poudre, enfermée dans une caisse cubique, & placée dans un terrein homogene, à telle profondeur que l'effet ne soit pas visible à la surface supérieure, la question est, quels changements en résulteront dans la terre même?

Par les expériences faites sur la nature de la poudre, il est manifeste qu'après y avoir mis le feu, c'est justement comme si un air, d'abord très-comprimé, & puis prenant l'essor, venoit se dilater; donc au-lieu de la poudre enflammée, nous avons une masse d'air comprimé, laquelle, au même volume de la poudre, a un ressort qui surpasse du moins mille fois la pression de l'air naturel de notre athmosphere. Or les corps élastiques, après avoir été comprimés, se dilatent tant qu'ils ont repris leur état naturel : aussi une masse d'air comprimé, si elle étoit exposée au grand air, se dilateroit de même, jusqu'à ce qu'elle eût atteint l'équilibre avec l'athmosphere, & en général tant que la force élastique fût totalement détruite.

§. 130.

Il sera question dans la suite de combien cette dilatation s'étend dans la terre; ici il s'agit de montrer selon quelle direction elle se fait, & quels changements en arrivent dans la terre. Pour répondre à la premiere question, on n'a qu'à réfléchir en général sur la nature des corps élastiques. Si l'effort d'un tel corps n'est point empêché par un si grand

obftacle qu'il en foit entiérement anéanti, il fe dilatera du côté que l'obftacle lui eft oppofé, avec ce qui lui refte de la force élaftique au-delà de la réfiftance de l'obftacle. En appliquant cette propriété au cas préfent, on voit que la dilatation de l'air fixe de la poudre, dès qu'il fe développe, fe fera en tous fens; car ce fluide étant enfermé de tous côtés, fon élafticité devra opérer de toutes parts conformément à la nature des corps à reffort : & comme par fon effet il ne gagne la furface fupérieure en aucun endroit, il ne fauroit y échapper; donc l'effet par le bas & vers les côtés, ne fauroit s'affoiblir : enfin, parce que nous confidérons le terrein où le fluide fe dilate, comme parfaitement homogene, il ne faut pas feulement qu'il fe dilate en tous fens, mais auffi qu'il fe dilate également, parce qu'il preffe également chaque point de la furface de l'endroit où il eft renfermé.

§. 131.

La terre qui fubit l'impulfion de cet air extrêmement élaftique, ne fauroit à la vérité céder; mais elle eft de nature que le fluide peut fe faire un paffage à travers fes interftices. La très-grande vélocité avec la-

quelle se dilate un corps aussi élastique que celui qui naît de la poudre, fait que ce fluide ne pénetre pas, comme par une succion lente, dans les pores de la terre, mais qu'il fait son chemin par un cours impétueux, qui ébranle & pousse en-avant les parties terrestres. Dans ce cas, il peut seulement arriver la désunion du terrein, comprimé par sa pesanteur naturelle, & uni par les moindres particules de terre ou par l'humidité. Si le terrein est de fort peu de consistance, il peut bien se former, par la compression des terres, une certaine cavité à l'entour de la chambre; mais elle sera peu de chose dans un terrein quelque peu compacte, & en général elle n'est pas d'importance, comparée à toute la dilatation dont l'effet de la poudre est susceptible.

§. 132.

Pour se faciliter l'idée de l'expansion de ce fluide condensé, qui se développe par l'inflammation de la poudre, on n'a qu'à se figurer la chambre des poudres comme centre, d'où partent des rayons de ce fluide dans toutes les directions possibles, en faisant leur chemin avec la vîtesse dont la poudre enflam-

mée se dilate. Un tel rayon, à la vérité, se fera en partie un passage par les interstices des terres; mais le plus souvent il sera arrêté par les particules des terres qui viennent à sa traverse. Les particules qui se trouvent dans sa direction, seront toutes ébranlées; de sorte que la particule voisine communiquera le mouvement à celle qui est plus éloignée: mais ce mouvement sera amorti, passé une certaine distance, partie par cette communication continuelle de mouvement, & partie par ce que les particules qui s'opposent à ce rayon vont en augmentant, en raison de ce que le rayon s'éloigne davantage de son origine, tellement que les particules de terre trop éloignées doivent rester entiérement inaltérées & immobiles.

§. 133.

Ce qui arrive à l'un de ces rayons, doit également arriver à tous les autres, & cela dans un même éloignement de leur origine, vu l'homogénéïté des terres que nous supposons. Il s'ensuit que toute l'étendue de l'action de la poudre sera comprise dans une figure sphérique, s'il est vrai que tous les rayons partent d'un seul point. Comme nous supposons cela, même dans le cas d'un coffre cu-

bique, les petites erreurs n'étant point ici de conféquence, nous pouvons pofer en fait, que toute quantité de poudre produit, dans un terrein homogene, un effet qui prend la figure d'une fphere.

§. 134.

Cette fphere fera déformais appellée *la fphere d'activité* de la poudre dans la terre. M. BELIDOR attache environ la même idée à fon globe de compreffion. Mais il paroît que cette dénomination, depuis qu'elle eft en vogue, a fervi préférablement à défigner ces fortes de mines qu'on employe à détruire les contre-mines; auffi, dans ce feul fens, nous en ferons ufage pour plus d'intelligence, parce qu'elle ne femble pas fi bien affortie que l'expreffion dont nous faifons choix.

§. 135.

Indépendament de ce que l'idée de la fphere d'activité des poudres enflammées dans la terre s'offre fans effort, elle n'a pas été d'abord faifie pour expliquer l'effet de la poudre dans les mines, comme il paroît par ce qui précede. Il eft même encore aujourd'hui des perfonnes d'une opinion contraire; car les unes

ne conviennent pas de l'action générale vers tous les côtés, & les autres en tombent d'accord sans croire qu'elle puisse avoir lieu par rapport aux mines ordinaires, qui manifestent leur effet à la surface de la terre.

§. 136.

Ceux qui attribuent à la poudre une propension singuliere d'agir par en-haut, désavouent qu'elle opere en tous sens. On s'est servi autrefois de cette supposition, afin d'expliquer quelques phénomenes qui s'observent quand on tire le canon, mais qui ont leur principe dans toute autre chose. Pour mieux se tirer d'affaire, on imagina cette loi, qui ne semble avoir d'autre preuve que l'élévation de la flamme & de la fumée, lorsque la poudre s'enflamme au grand air, mais qui d'ailleurs peut être détruite par des raisons irréfragables. Le recul du canon & l'élévation des fusées, fait assez voir que la poudre opere indifféremment vers tous les côtés ; & que dans le dernier cas, elle agit si violemment vers le bas, que la fusée gagne le haut avec une vîtesse considérable. Nous ajoutons qu'il est presque inutile de rapporter des raisons pour réfuter cette opinion, vu l'inconséquence d'attribuer à la pou-

dre la qualité occulte de chercher une iſſue, ſans étendre cette recherche vers tous les côtés, avant qu'elle ait pu trouver la ſurface extérieure de la terre. D'ailleurs, nous en appellons à un homme de grande célébrité parmi ceux qui ſont prévenus contre la ſphere d'activité, à M. DE VAUBAN, qui, ne pouvant avoir de ſon temps les meilleures idées de l'effet de la poudre, a néanmoins ſoutenu qu'une boule de poudre enflammée en plein air, forme une eſpece de ſphere d'activité; & il eſt ſeulement à regretter qu'il n'ait pas mieux appliqué cette maxime, vraie dans le fond, au bien de la théorie des mines.

§. 137.

Ce ſont les conſéquences erronnées que M. DE VAUBAN a déduites de ſa maxime, dont s'étayent en quelque ſorte ceux qui ne veulent point reconnoître la formation d'une ſphere d'activité dans les mines ordinaires. M. MEGRIGNI avoit déja expérimenté qu'un fourneau, en jouant, peut crever des chambres vuides, & éloignées de la longueur de la ligne de moindre réſiſtance, ſur les côtés & par le bas; & c'eſt ce que M. DE VAUBAN & ſes partiſans, loin de nier, ont plutôt conſ-

taté, en ce qu'ils s'accordent à prefcrire de bien bourrer le cou de la mine, à la diftance de la ligne de moindre réfiftance, & même un peu au-delà. Ils conviennent par-là que dans la terre, comme au grand air, il fe forme une fphere d'activité dont ADBE, Fig. 1, peut répresenter le profil. Cependant ils prétendent que la fphere augmentée de peu de chofe, & perçant en A la furface terreftre HI, ne fera plus élargie par le bas, & fur les côtés; mais que, dans ce moment, la force reftante de la poudre s'échappera par cette ouverture, & que fortant & enlevant la fection MCN de la fphere d'activité, elle entraînera pas fa vîteffe les deux cornes FMA & NGA.

§. 138.

Si cette prétention étoit fondée, tout ce qui par la fuite doit & peut être conclu de l'idée précédemment établie de la fphere d'activité, devroit tomber, & on ne parviendroit peut-être jamais à une théorie praticable & générale. Il y a plus: le contraire ne fauroit proprement fe prouver par la maniere dont fe forme la fphere d'activité, felon les reftrictions ci-devant mentionnées. Cependant la preuve de ce qui doit arriver, ne nous manque

que pas. Nons allons rapporter des expériences qui le feront voir bien évidemment; & la chose elle-même étant prouvée, nous produirons des raisons pour faire comprendre ce phénomene. Voilà le sujet qui nous reste à traiter dans ce Chapitre.

§. 139.

Comme nous devons généralement à M. BELIDOR les justes idées de l'effet de la poudre dans la terre, nous lui sommes également redevable des premieres épreuves tendantes à constater ces idées. Celles dont il s'agit ici, doivent être regardées comme le résultat des épreuves rapportées §. 106, à la différence près, que, comme celles-ci ne servoient qu'à réfuter les anciennes théories erronnées, & peut-être à conduire à une nouvelle, les autres tendoient en même-temps à en établir une, & à l'affermir contre les objections. Si quelqu'un s'attache plutôt à la personne qu'à la chose, il pourroit lever des doutes sur ce que la théorie & les épreuves partent du même Auteur, & qu'on auroit pu choisir des épreuves trop favorables à une certaine théorie déja adoptée; mais indépendamment de ce que, dans ce cas, la chose

elle-même dépofera contre cette fuppofition, on a réitéré ces épreuves dans des endroits différents de l'Allemagne, & nous ne laiffe-ront pas d'en donner le détail, pour appuyer celles de M. BELIDOR.

§. 140.

La *Nouvelle Théorie* de M. BELIDOR, comme il eft dit plus haut, étant déja achévée en manufcrit, l'an 1729, il s'en répandit d'abord des copies dans toutes les Ecoles d'Artillerie de la France. De ces Ecoles, s'adref-ferent bientôt à l'Auteur toutes fortes d'écrits, où l'on s'efforçoit de montrer l'inconféquence d'une théorie contraire aux maximes facrées de M. MEGRIGNI. D'un autre côté, plu-fieurs perfonnes accuillirent cette théorie comme fondée par l'expérience: & voilà parmi les gens du métier de nouvelles diffen-tions, qui ne pouvoient encore fe vuider que par des épreuves. Le Commandant de l'Ecole voulant bien s'y prêter pour le coup, on conf-truifit, au mois de Juin 1732, une mine proche de la Fere, qui, fur 10 pieds de ligne de moindre réfiftance, fut chargée à 1200 livres de poudre. Pour prendre connoiffance de l'étendue de la fphere d'activité à former, on

perça quatre galeries à-peu-près dans le plan horifontal & autour de la chambre : la premiere, à la diftance de 25 pieds de fon centre ; la feconde, en étoit diftante de 30 ; la troifieme, de 35, & la quatrieme, de 40 pieds ; & l'on pouffa de plus une cinquieme galerie à 13 pieds deffous le fourneau. Cette mine ayant joué le 22 de ce mois, on trouva non-feulement un entonnoir qui avoit 45 pieds de diametre, & 16 pieds de profondeur ; mais on trouva d'ailleurs, que la majeure partie des cinq galeries étoit écrafée & totalement détruite.

§. 141.

Cette expérience eft en effet la premiere en date, qui prouve que l'action de la poudre fe porte vers tous les côtés, & excede la ligne de moindre réfiftance ; ou, fi l'on aime mieux l'envifager fous un autre point de vue, c'eft le premier globe de compreffion qui creva des galeries coffrées en bois de chêne, & éloignées du fourneau jufqu'au quadruple de la ligne de moindre réfiftance. On convient qu'ordinairement on prend pour le premier globe de compreffion, celui qui fut conftruit à Bify, vingt & un ans après ; mais c'eft apparemment par la feule raifon que la connoiffance détail-

lée de la réussite de la premiere épreuve a été plus ignorée que celle de la suivante, ou d'un côté assisterent grand nombre de personnes de considération, & que, d'autre part, elle fut constatée par un procès-verbal, signé d'Officiers qui avoient été des témoins oculaires. Il n'est donc pas douteux que l'épreuve mentionnée ci-dessus ne soit la premiere dans ce genre : mais voici pour quelle raison on entreprit la seconde. Quoiqu'on pût raisonnablement attendre que la premiere épreuve auroit dissipé tous les doutes sur la *Nouvelle Théorie des Mines*, & terminé toutes les difficultés, les adversaires de M. Belidor chercherent encore des défaites malgré leur assentiment intérieur. Ils savoient, & M. Belidor ne l'avoit point dissimulé, que dans l'endroit de la Fere où l'épreuve s'étoit faite, les terres n'avoient que 10 pieds de profondeur, & que par-dessous il régnoit un gros banc de marne ; c'est pourquoi ils prétendirent que la poudre s'étoit fait jour entre ce banc & les terres, en pénétrant jusqu'aux galeries, qui, sans cela, n'auroient pas été crevées. Ils ne songeoient assurément pas, que ce raisonnement ne concluoit rien pour la galerie dessous le fourneau, qui étoit enfoncée de 13 pieds dans le banc de marne. Cepen-

dant ce fentiment, malgré fon infuffifance, fut goûté des perfonnes qui n'eftimoient pas les travaux de M. BELIDOR, & celui-ci dut s'en tenir là l'efpace de vingt ans paffés.

§. 142.

Ce temps écoulé, il faifit l'occafion, au moyen de la protection du Duc DE BELLE-ISLE; de le porter au point qu'on entreprît une feconde épreuve, femblable à celle de la Fere; mais dans un autre endroit, afin qu'on ne pût plus en attribuer l'heureux fuccès à la qualité fortuite du terrein dans le voifinage de la Fere. L'endroit qu'on choifit étoit la campagne de Bify, proche Vernon-fur-Seine, appartenante au Duc DE BELLE-ISLE. Dans le mois de Juin 1753, on conftruifit une mine, avec les galeries qu'on jugea à propos, aux environs de fon château, dans un terrein de tuf fec, mêlé de fable & de pierres. On donna une ligne de moindre réfiftance de 12 pieds au fourneau, qui fut chargée à 3000 livres de poudre, & l'on pratiqua quatre galeries qui répondoient aux quatre points cardinaux, & que l'on approfondit plus d'un bout que de l'autre, pour qu'elles fuffent en grande partie paralleles à

la superficie du terrein qui alloit en glacis, surtout du Sud au Nord. Voici le détail de leur disposition. La galerie BC, Fig. 4, qui regardoit l'Est, avoit 72 pieds de long, ayant une pente de 6 pieds depuis C jusqu'en B, & elle étoit entiérement revêtue en maçonnerie; celle qui répondoit au Sud, marquée par CD, avoit 60 pieds de long, en descendant 5 pieds de C en D; elle étoit maçonnée de C jusqu'en G sur 48 pieds de longueur, le reste bien coffré en bois de chêne: celle de l'Ouest AD avoit aussi 72 pieds de longueur, & une pente de 5 pieds 4 pouces de D vers A; elle étoit toute coffrée en bois de chêne: enfin, celle du Nord AB avoit 60 pieds comme celle du Sud; & ne descendoit de B en A que de 3 pieds; elle étoit maçonnée sur la longueur de 48 pieds de B jusqu'en L, le reste bien coffré en bois de chêne. Le plan du rectangle entier ABCD avoit ainsi de D vers A, c'est-à-dire, sur 72 pieds, une pente de 6 pieds 3 pouces: sa profondeur moyenne étoit de 15 pieds, bien que le fourneau ne fût placé qu'à 12 pieds; mais comme chaque galerie avoit 6 pieds de hauteur sur 3 de largeur dans œuvre, on peut admettre, sans erreur sensible, que les galeries se sont trouvés dans le même plan avec le fourneau.

Ligne de mo pieds.

C

Diametres des Entonnoirs.	*Dans un terrein de peu de consistance.*	*s un ...in ...t.*	*Rayons de la sphere d'activité.*
Pieds.	*Livres.*	*res.*	*Pieds.*
22	225	50	18, 4
24	[illegible]	88	19, 2
44	667	34	[illegible]
46	731	62	27, 5
48	801	02	28, 3
50	873	46	29, 2
52	955	10	30,
54	1039	78	30, 9
56	1132	64	31, 8
58	1285	70	32, 7
60	1333	66	33, 5
62	1443	86	34, 4
64	1560	20	35, 3
66	1683	66	36, 3
68	1856	12	37, 2
70	1951	02	38, 1
72	2101	02	39,
74	2249	98	39, 9
76	2410	20	40, 9
78	2645	90	41, 8
80	2755	10	42, 7
82	2941	82	43, 7
84	3135	70	44, 6
86	3338	76	45, 5
88	3550	00	46, 5
90	3772	44	47, 4



§. 234.

… résistance = 20 pieds.

… ges de Poudre.			
Diame des … tonno.	Dans un terrein médiocre.	Dans un terrein fort.	Rayons de la sphere d'activité.
[illegible]	1972	2320	[illegible]
[illegible]	2121	2494	32, 8
[illegible]	2279	2676	33, 6
[illegible]	2448	2880	34, 4
[illegible]	2627	3088	35, 2
[illegible]	2817	3312	36,
[illegible]	3017	3548	36, 9
[illegible]	3229	3798	37, 7
[illegible]	3453	4062	38. 6
[illegible]	3688	4338	39, 5
[illegible]	3936	4628	40, 3
[illegible]	4197	4930	41, 2
	4471	5260	42,
	4758	5598	42, 9
	5059	5952	43, 8
	5376	6322	44, 7
	5704	6720	45, 6
	6049	7116	46, 5
	6409	7540	47, 4
	6784	7980	48, 3
	7171	8442	49, 2
	7583	8922	50, 2
	8012	9420	51,
	8449	9940	51, 9
	8908	10480	52, 9
	9384	11040	53, 8
	9879	11622	54, 7
	10390	12226	55, 6
	10920	12850	56, 5
	11470	13498	57, 2
	12040	14170	58, 5
	12630	14864	59, 5
	13220	15582	60, 4
	13870	16324	61, 4
	14530	17092	62, 3
	15200	17884	63, 2

Du reſte, le fourneau P n'étoit point établi au milieu du quarré-long, mais tellement que PE = 24 pieds, PF = 30 pieds, PI = 36, & PM = 42 pieds. Enfin, on avoit creuſé en A un puits de la profondeur de 29 pieds, & pouſſé à cette profondeur, dans la direction de la diagonale AC, une galerie qui paſſoit deſſous le fourneau P; de ſorte que le ciel de cette galerie R, *Fig.* 5, étoit à 14 pieds au-deſſous du centre de la chambre.

§. 143.

Cette mine, en jouant le 18 Juin, forma un entonnoir parfaitement rond, de 66 pieds de diametre & 17 de profondeur. En examinant les galeries, on trouva qu'il ne reſtoit du rectangle ABCD, que AL = 12 pieds, AK = 18, HD = 12, & DG = 12 pieds; tout le reſte étoit crevé & écraſé. Quant à la galerie de 60 pieds de longueur de A juſqu'à P, ou de T juſqu'à R, Fig. 5, qui paſſoit deſſous le fourneau, il ne reſtoit que TY = 24 pieds; la partie reſtante YR = 36 pieds, étoit crevée comme les autres galeries. Cet exemple démontre évidemment l'effet général de la poudre, tant ſelon la direction horiſontale, que ſelon la verticale.

§. 144.

En effet, la quantité bien confidérable de 3000 livres de poudre, n'avoit à percer qu'une épaiffeur de terres de 12 pieds, & même moins encore; cela fait, rien ne l'empêchoit de fe mettre au large par cette ouverture. Indépendamment de cela, nous voyons dans cette épreuve que la poudre, loin de fe borner dans le plan horifontal à atteindre les galeries dans leurs moindres éloignements PE, PF, PI & PM, a été capable de caufer la deftruction fur un éloignement confidérable. Mais comme il eft impoffible que les rayons de l'effort de la poudre, qui avoit le moins de chemin à parcourir jufqu'aux galeries, ayent pu continuer d'agir vers les côtés, & qu'il a fallu plutôt un rayon particulier à chaque point, on apprendra la plus grande diftance jufqu'à laquelle un rayon de poudre a pu agir, fi du point P on tire des lignes vers les extrêmités B, L, K, H & G du dégât des galeries, & qu'on en cherche la grandeur, favoir de PL, PK, PH & PG.

§. 145.

On trouve aifément la dimenfion de ces li-

gnes par le procédé suivant. En connoissant les deux côtés du triangle rectangle PMB, Fig. 4, savoir PM = 42 pieds, & MB = PE = 24 pieds, on trouvera sans peine l'hypothénuse PB = 48, 37 pieds. Dans le triangle PML, on trouvera, par le moyen de PM, = 42 pieds, & ML = AM — AL = 36 — 12 = 24 pieds, l'hypothénuse PL = 48, 37 pieds. D'ailleurs, on connoît, des trois côtés du triangle rectangle PIK, le côté PI = 36 pieds, & KI = AI — AK = 42 — 18 = 24 pieds; donc l'hypothénuse PK = 43, 26 pieds. De même PI = 36 & HI = DI — DH = 30 — 12 = 18 pieds, donneront l'hypothénuse PH = 40, 24 pieds; & enfin, par le moyen des deux côtés PF = 30, & FG = DF — DG = 36 — 12 = 24 pieds, on aura l'hypothénuse PG = 38, 41 pieds.

§. 146.

Du reste, si l'on considere la galerie qui passe dessous le fourneau, Fig. 5, il sera encore évident que la charge de poudre a non-seulement atteint la galerie selon la moindre distance PR de 14 pieds; mais qu'elle a continué de l'écraser au point qu'il ne restoit que TY = 24 pieds, de toute sa longueur RT = 60 pieds. Et comme le triangle rectangle PRY a une hy-

potenuse PY de 38, 62 pieds, parce que PR = 14, & RY = RT — TY = 60 — 24 = 36 pieds, c'étoit ainsi le plus grand éloignement où l'effet s'est porté par en-bas.

§. 147.

Voilà donc une preuve non-équivoque de la formation d'une sphere d'activité dans les terres, lors du jeu d'une mine. Une charge de poudre, qui, en perçant une épaisseur de terres de 12 pieds, pouvoit prendre l'essor par en-haut, pénétra encore sur les côtés, & par le bas, de 38 jusqu'à 48 pieds dans les terres; de sorte que son effet excédoit trois ou quatre fois la ligne de moindre résistance. Les distances inégales, où l'effet de la poudre s'est porté, font bien voir qu'il n'a pas exactement formé une figure sphérique; mais cela peut avoir été occasionné par l'hétérogénéïté du terrein, & par la différence dans la constitution des galeries, dont partie étoit en bois, & partie en maçonnerie. Car il n'y a point d'invraisemblance à soutenir, que le mouvement se communique, par des secousses, plus loin dans la maçonnerie que dans le coffrage de bois. Quoi qu'il en soit, cette expérience ne laisse pas de prouver que l'effet de la pou-

dre ſe fait en tous ſens, même au-delà de la ligne de moindre réſiſtance, & il n'eſt point douteux qu'il auroit pris la figure ſphérique, ſi le terrein eût été homogene, conformément à notre précédente ſuppoſition.

§. 148.

Dès que M. LE FEBVRE, Major Ingénieur de S. M. le Roi de Pruſſe, eut communication de la ſeconde épreuve de M. BELIDOR, il réſolut de la réitérer. Comme la premiere épreuve de 1732 (§. 140), ne tendoit ſans contredit, qu'à prouver la formation d'une ſphere d'activité par toute quantité de poudre embraſée ſous terre, il eſt également certain que M. BELIDOR s'étoit propoſé le même but par la ſeconde de 1753, attendu qu'il ne la débite que comme une répétition de la premiere. Cependant, dans la vue apparemment de concilier plus de partiſans à ſa théorie, il ne préſentoit cette épreuve à ſes compatriotes que du côté qui annoncoit que, par ſon moyen, on peut ſe rendre capable de ruiner les contre-mines d'une Place aſſiégée. Il ſemble auſſi que M. LE FEBVRE ne l'ait connue que par cet endroit, & c'eſt à cette fin qu'il l'a répétée, en 1754, aux environs

de Potsdam ; & huit ans ans après, il eut occasion de se servir sérieusement du globe de compression devant Schweidnitz. Comme *la nouvelle Théorie de M.* BELIDOR ne fut imprimée qu'en 1756, on peut faire grace à M. LE FEBVRE s'il ne regardoit pas l'épreuve de l'autre côté, quoique sa correspondance de lettres avec M. BELIDOR auroit pu l'y rendre attentif : mais on ne sauroit nullement lui passer que bien du temps après, lorsqu'il a composé son *Essai sur les Mines* (*), il fut encore à s'instruire de la théorie de M. BELIDOR ; & il faut s'en prendre à cette ignorance, de ce que, relativement à la théorie, il a si malheureusement rencontré (§. 66). Cependant cette épreuve, quelqu'objet qu'elle ait eu, peut servir à constater la réalité d'une sphere d'activité, produite dans la terre par l'inflammation de la poudre.

§. 149.

M. LE FEBVRE fit entreprendre cette épreuve à Potsdam, dans un terrein sablon-

(*) Voyez p. 105. Cet *Essai* parut pour la premiere fois en 1764, ou huit ans après que la *Théorie de M.* BELIDOR fut imprimée.

neux, par une mine de 15 pieds de ligne de moindre résistance, & chargée à 3300 livres de poudre. On conduisit trois galeries environ à la profondeur du fourneau E (Fig. 6), dont AC & DB avoient 102 pieds, & AB 60, tellement que leur moindre distance du fourneau étoit EF = 24 pieds, EL = 36 pieds, & EI = 42 pieds : on poussa encore une quatrieme galerie RQ, (Fig. 7) qui passoit dessous le fourneau, & dont le ciel étoit éloigné de 16 pieds du foyer des poudres, La mine joua, & produisit non-seulement un entonnoir de 66 pieds de diametre & de 18 pieds de profondeur; mais elle laissa des traces marquées de son effet, bien plus au-delà de la longueur de la ligne de moindre résistance qu'on n'auroit osé se le promettre d'un terrein de si peu de consistance. La galerie AB étoit crevée en entier, & il ne restoit de la galerie AC que le bout AH = 11 pieds, & CG = 21 pieds; quant à la galerie BD, il en restoit la partie KB = 6½ & DM = 20 pieds. La plus grande distance où l'effet de la poudre s'est porté dans les deux principales galeries, étoit EH, EG, EK & EM, qu'on trouve par le calcul de 40, 46, 50½ & 53½ pieds. Il faut chercher la raison de cette anomalie assez sensible, dans l'in-

égale confiftance du terrein, parce que ce n'eft pas le différent revêtement des galeries qui peut feul y avoir donné lieu. Il femble bien que la poudre atteignoit la plus grande diftance E M dans le plan horifontal, parce que fes rayons ont paffé par deux fois la galerie N P qui avoit fervi à charger le fourneau; mais il faut qu'il y eût environ la même diftance dans les galeries D B & B A, fans quoi la galerie A B n'auroit pas été totalement écrafée. La moindre diftance à laquelle la charge de poudre a manifefté fon effet fur les côté, étoit E M dans la galerie C A, revêtue en maçonnerie depuis A jufqu'en F; mais comme E G ne furpaffe pas de beaucoup cette diftance, il faut que le terrein ait été de fa nature plus folide de ce côté du fourneau que des autres côtés: cependant il eft affez fingulier que la fphere d'activité ne fe foit pas tant étendue dans la maçonnerie que dans les galeries coffrées en bois, parce que, conformément à la nature des chofes & à l'épreuve de M. BELIDOR, le contraire en auroit dû réfulter.

§. 150.

On étoit fondé à s'attendre que cette mine

qui avoit opéré un si prodigieux effet vers les côtés, auroit également produit un tel effet par le bas; aussi cela se trouva effectivement dans la galerie QR (Fig. 7), qui, à la distance ER de 16 pieds, passoit dessous le fourneau E. De toute sa longueur de 60 pieds passés, il y eut presque la moitié de crevée; de sorte que l'effet de la poudre s'est étendu, selon la ligne ES, à une longueur de 38 pieds ou environ.

§. 151.

On voit par ce qui précede, que l'épreuve de M. LE FEBVRE eut le même succès que celle de M. BELIDOR, quoique les circonstances qui accompagnoient les deux épreuves, furent sensiblement différentes : l'on ne disconviendra pas que ce que l'épreuve de M. BELIDOR devoit prouver, & prouvoit en effet (§. 147), ne soit confirmé de reste par celle de M. LE FEBVRE. Les Lecteurs sensés ne demanderont pas de démonstration ultérieure. Cependant il ne sera pas désagréable d'apprendre qu'une seconde fois on a entrepris, en Allemagne, une épreuve toute analogue à celles de MM. BELIDOR & LE FEBVRE, & qui a constaté de nouveau la réussite des premieres; mais comme nous n'a-

vons connoiſſance de cette épreuve que par une relation ſuccinte dans le Journal intitulé, *Gœttingiſchen gelehrten Anzeigen* (*), nous n'en ſaurions rendre un compte détaillé.

§. 152.

Cette épreuve ſe fit à Brunſwick, en conformité des ordres de LL. AA. SS. les Princes de Brunſwick, par M. SCHNELLER, Lieutenant-Colonel, & Chef du Corps des Mineurs, le 6 Décembre 1770. Un fort, ſitué au Nord de cette Ville, dont le Duc JULIUS s'étoit ſervi à ſa priſe, l'an 1672, en fournit le terrein. Afin d'y pratiquer tout ce qu'on peut entreprendre à l'attaque & à la défenſe des Places par le moyen des mines, on ajouta à l'ancien foſſé du fort, un chemin-couvert garni d'un glacis contre-miné, & à 70 pas au-delà, on fit une troiſieme parallele, de laquelle on déboucha par ſape, & l'on établit enſuite le globe de compreſſion, à deſſein de crever les contre-mines ennemies. Il fut chargé à 2050 livres de poudre, & l'on prétend que ſon effet fut ſi conſidérable, qu'à 83 pieds ſous terre, il détruiſit encore des bois de charpente,

(*) Pour l'An 1771, Part. XIX, p. 159 & 160.

pente. Il auroit été à souhaiter que l'Auteur de cette relation eût daigné désigner la ligne de moindre résistance de cette mine, afin de pouvoir mieux prononcer sur son effet. Si l'on avoit procédé, comme la relation le porte, en calculant la charge suivant la regle que M. BELIDOR donne dans sa nouvelle Théorie (*), la charge indiquée devroit appartenir à une ligne de moindre résistance qui à peine pourroit avoir 7 pieds; & dans ce cas, son prétendu effet sur un éloignement de 83 pieds du fourneau, seroit tout inattendu. Quoi qu'il en soit, un pareil effet excéde tout ce qu'on ose espérer, puisqu'on peut faire voir, par des raisons dont nous ferons usage par la suite, que la charge ici employée ne peut opérer dans un terrein de la moindre consistance au-delà de 40 pieds à la ronde. Cette épreuve confirme donc en général l'effet de la poudre en tous sens; mais on n'en peut tirer des résultats assurés, avant qu'il plaise à son Auteur d'en rendre publique une relation détaillée; ce qui est d'autant plus à desirer, que, dans le même temps, il a encore fait d'autres épreuves sur la Science des Mines.

(*) *Œuvres diverses de M.* BELIDOR, *p.* 378.

§. 153.

Si l'on fait entrer en ligne de compte la premiere épreuve, (§. 140) comme de raison, afin de constater la sphere d'activité de la poudre dans les terres, il s'est fait quatre épreuves de cette espece; la premiere, à la Fere, en 1732; la seconde, à Bisy, en 1753; la troisieme, à Potsdam, en 1754; & la quatrieme, à Brunswick, en 1770 (*). Ainsi la for-

(*) Il s'est fait une cinquieme épreuve à Maestricht, le 30 Août 1765, en présence de MM. les Députés du Conseil d'Etat: en voici le détail. La ligne de moindre résistance, prise du centre du fourneau, avoit 12 pieds; à l'entour du fourneau & à la même profondeur, il y avoit quatre galeries qui formoient un parallélogramme horisontal, & une cinquieme passoit dessous le fourneau à la distance de 13 pieds de son centre; la charge fut de 1000 livres de poudre. L'effet a été tel, que le diametre de l'entonnoir avoit 52 pieds; trois galeries horisontales ont été en grande partie crevées; & celle qui passoit dessous le fourneau, a été enfoncée sur une grande étendue; la quatrieme galerie horisontale, trop éloignée du fourneau, a seule resté en entier. On a trouvé que l'action de la poudre s'est porté dans les galeries horisontales jusqu'à 28 & 34 $\frac{1}{2}$ pieds, & dans celle qui passoit dessous le fourneau, jusqu'à 22 $\frac{1}{2}$ pieds: ces distances se feroient plus approchees du rayon de la sphere d'activité, qui, par §. 160, se trouve d'environ 28 $\frac{1}{2}$ pieds, si l'hétérogénéité du terrein n'eut pas donné lieu à des irré-

mation d'une ſphere d'activité eſt ſuffiſamment prouvée par toutes ces épreuves, & l'on n'a que faire d'en appeller à des relations encore incertaines des globes de compreſſion employés devant Schweidnitz (*) & Bender,

gularités; car depuis la ſurface il y avoit 7 pieds 3 pouces de terres fortes mêlées de gravier, qui étoient ſuivies de 9 pieds de ſable, où le fourneau & les galeries horiſontales étoient placées; & enſuite il y avoit un banc d'argille forte, où paſſoit la galerie deſſous le fourneau. Comme l'on a trouvé que pluſieurs barils de poudre, dont on ſe ſervoit pour la charge, étoient inférieurs à la qualité requiſe, on n'en ſauroit déduire aucune regle aſſurée; & cette épreuve ne vient qu'à l'appui des autres, pour s'aſſurer que la poudre forme une ſphere d'activité dans les mines. *Note du Traducteur.*

(*) M. LE FEBVRE a fait jouer quatre globes de compreſſion devant Schweidnitz, en 1762. Dans un Journal du Siege de cette Place qui ſe trouve dans les *Œuvres completes de M. LE FEBVRE*, (raſſemblées pour la premiere fois, & imprimées à Maeſtricht, en 1777, chez *J. E. Dufour* & *Ph. Roux*, en 2 vol. 4°. avec 33 Planches,) on voit la deſcription ſuivante. La charge du premier globe étoit de 5000 livres de poudre, le diametre de l'entonnoir environ de 80 pieds, & la profondeur de 16 à 17 pieds. La charge du ſecond globe, de 2400 livres; le diametre de l'entonnoir de 60 pieds, & la profondeur de 15 pieds. L'on chargea le troiſieme globe de 3600 livres, & l'entonnoir eut environ 60 pieds de diametre ſur 16 pieds de profondeur. Enfin, la charge du quatrieme globe étoit de 5000 livres

qui cependant prouvent la même chose, en ce que leur disposition & leur usage étoient fondés sur la théorie de la sphere d'activité de la poudre, & qu'ils auroient absolument manqué leur objet sans la justesse de cette théorie.

§. 154.

On ne sauroit disconvenir que l'effet de la poudre, tel qu'on vient de le prouver, a quelque chose d'étrange; & il y a de quoi s'étonner que dans les expériences précédentes, elle pénétroit sur les côtés, du moins jusqu'au quadruple de la ligne de moindre résistance, quoiqu'elle pût déja trouver une issue au quart de cette distance. Cependant cet effet, tout surprenant qu'il soit, n'en est pas moins certain, & il ne s'agit que de rendre intelligible ce qui tient ici du merveilleux. M. BELIDOR interpose la pression de l'athmosphere sur la surface de l'entonnoir, & montre par des prin-

---

comme le premier, & son effet fut prodigieux, en formant une breche par les terres, qui furent jettées jusqu'au haut des parapets d'une enveloppe, sans nuire au revêtement. C'est dommage que l'on ignore les lignes de moindre résistance de ces mines, de même que la qualité du terrein où elles ont joué. *Note du Traducteur.*

cipes connus, qu'elle eſt à conſidérer, comſi l'on eût mis une couche de ſable de 20 pieds d'épaiſſeur au-deſſus de la ſurface terreſtre ſous laquelle on auroit placé le fourneau (*). Mais la comparaiſon la plus légere de cette hypotheſe aux épreuves dont nous avons rendu compte, fait bientôt voir, qu'aucune des mines qu'on y a employées, n'auroit formé un entonnoir, ſi effectivement il y eût eu une couche de ſable auſſi forte au-deſſus de leur ſurface (**). D'ailleurs, il ne nous paroît pas

(*) *Œuvres diverſes de M.* BELIDOR, *p.* 338.

(**) L'Auteur ne paroît point admettre la preſſion de l'athmoſphere lors du jeu des mines ; du moins ſes raiſonnements conduiſent à cette induction. Mais n'eſt-ce pas s'inſcrire en faux contre un principe des mieux avérés en Phyſique ? Car comme il eſt reconnu que l'air preſſe ſur la ſurface terreſtre, il eſt inconteſtable qu'une colonne preſſe ſur la ſurface de l'entonnoir à former ; que cette preſſion ſe fait ſentir, dès que la maſſe des terres commence à ſe ſoulever ; & qu'il faut une force quelconque qui la ſurmonte, avant que les terres puiſſent ſe ſoulever & ſe mouvoir vers le haut. Si l'air extérieur pouvoit s'inſinuer dans les cavités & dans les ouvertures produites par l'effet des poudres, ſans y laiſſer du vuide, il y a lieu de croire que cet air, dont l'élaſticité ſe renforceroit de beaucoup par la chaleur de l'inflammation, rempliroit la fonction de la force qui fait équilibre à la preſſion de la colonne qui appuye ſur la ſurface de l'entonnoir, & que la

néceſſaire d'avoir recours au poids de l'air, parce que des raiſons moins compliquées ſe préſentent pour expliquer ce phénomene.

---

force des poudres ſerviroit uniquement à chaſſer la maſſe des terres hors de l'entonnoir : mais comme pluſieurs grands Phyſiciens ont démontré que l'effet de la poudre n'eſt dû qu'à une eſpece d'air extrêmement condenſé, lequel, en ſe développant par l'inflammation, eſt de beaucoup plus denſe que l'air naturel, avant que la mine ſe ſoit fait jour, il eſt impoſſible que l'air extérieur prenne la place de cet air qui a fait une partie intégrante de la poudre, & qui, joint à l'air naturel qui occupe les interſtices de la poudre, devra, par conſéquent, lui-même déplacer la colonne de l'athmoſphere avant que de pouvoir enlever le ſolide de l'entonnoir. Si les raiſons ne prévaloient pas ſur les autorités, nous pourrions en appeller à celle du grand EULER, qui, en calculant la viteſſe d'un boulet, ne perd point de vue la réſiſtance qu'il éſſuye de la preſſion de l'athmoſphere, lorſqu'il ſe meut encore dans la volée du canon; cas très-analogue à celui dont il eſt queſtion. Cependant, comme M. BELIDOR, qui ſoutient la preſſion d'une colonne de l'athmoſphere, calcule comme s'il n'y en avoit point, & qu'il juſtifie ſes calculs par des expériences, on penche à croire que cette preſſion importe peu ſi on la compare au grand effort des poudres, & qu'on pourroit en faire abſtraction dans la théorie des Mines, ſur-tout en faiſant réflexion que M. BERNOULLI fils, dans ſa *Hydrodynamique*, prétend que la force élaſtique de l'air, renfermé dans la poudre, excede, au premier moment de l'inflammation, la preſ-

§. 155.

Par rapport à ces fortes de mines, il s'agit feulement que le ciel du fourneau foit fi fort qu'il puiffe réfifter jufqu'à ce que les poudres foient entiérement allumées. L'inflammation faite, & tout le fluide dont l'effet de la poudre dépend, s'étant développé, il com-

fion de l'athmofphere de dix mille fois, & que M. EULER obferve que la diminution de vîteffe que le boulet fubit dans le cas mentionné, tant par la preffion de l'air que par la réfiftance de fes parties, eft à compter pour rien. Le moyen pour affeoir fon jugement, feroit, d'établir dans un terrein fenfiblement homogene, deux fourneaux également chargés; de forte que l'un fît fon effet au-deffus de la furface fupérieure, & l'autre peu au-deffous: car fi, dans ces deux cas, les fpheres d'activité gardent à-peu-près la même fphéricité & le même volume, on peut en inférer que la preffion de la colonne d'air eft de nulle conféquence. Enfin, nous devons encore obferver, que ce n'eft pas à beaucoup près la même chofe, de fuppofer que le poids de l'athmofphere équivaut à celui d'une couche de fable de vingt pieds de hauteur, ou de fuppofer que la ligne de moindre réfiftance foit allongée d'autant de pieds, comme l'Auteur femble vouloir l'infinuer: mais nous convenons très-volontiers, qu'on s'en peut tenir à la maniere dont il explique l'évafement des entonnoirs au paragraphe fuivant, fans recourir à la preffion de l'athmofphere. *Note du Traducteur.*

mence à faire effort contre tous les côtés de la chambre. A l'inſtant toute la maſſe du fluide élaſtique entre dans les terres qui avoiſinent immédiatement la chambre ; & en vertu de ſa tendance naturelle à ſe dilater, auſſi long-temps qu'enfin elle ſoit en équilibre avec l'air naturel, elle ſe dilate en effet juſqu'à ce que cela arrive. Si dans ce cas une partie des rayons de la poudre ſe fait jour, cela n'empêche point les autres de pourſuivre leur courſe dans la direction qu'ils ont priſe dès le commencement, parce que cette direction a été déterminée au moment de l'inflammation, & que, ce moment paſſé, les rayons n'ont plus rien de commun enſemble. En général, toute difficulté dans cette matiere vient de ce qu'on s'imaginoit ci-devant que les rayons oppoſés s'entre-appuyent au centre de la chambre, & d'après cette ſuppoſition, il eſt néceſſaire qu'un rayon, en agiſſant vers le bas, ceſſe de ſe dilater, dès que celui qui agit par en-haut gagne la ſurface de la terre (*). Or

(*) M. BELIDOR prétend que dès qu'il y aura une quantité ſuffiſante de poudre enflammée pour produire une ſphere d'activité, dont le rayon ſoit égal à la ligne de moindre réſiſtance, les ſpheres qui ſe formeront enſuite par l'accroiſſement de la ſphere d'activité, ne feront

d'abord qu'on abandonne cette supposition gratuite, tout s'éclaircit, sans qu'il reste la plus légere difficulté.

---

plus régulierement rondes; mais que les rayons au-dessous du fourneau iront toujours en diminuant, & cela en sens contraire de ceux qui leur sont opposés, parce que la poudre ayant senti le foible du côté du ciel, commencera à soulever tant soit peu les terres, pour former la naissance d'un monticule, lequel ira toujours en croissant, tant que la poudre, ayant atteint la plus grande étendue qu'elle peut donner à la sphere d'activité, se déterminera du côté où elle ne trouvera plus d'obstacle; que c'est dans ce moment que la plus grande quantité de poudre achevant de s'enflammer, réunit tous ses effets vers le ciel, pour n'agir plus que de ce côté-là. Nous observerons que le monticule ne pourra se former, ni la poudre se déterminer vers le haut, qu'après qu'elle aura déja surmonté & le poids des terres, & celui de la colonne d'air, & que la sphere d'activité pourra s'agrandir réguliérement dans les terres, jusqu'à l'instant de l'équilibre; ce qui ne s'accorde point avec la pensée de M. BELIDOR. D'ailleurs, il semble peu apparent que des fourneaux à différentes profondeurs, mais également chargés, formeroient des spheres d'activité égales; car selon l'idée précédente, la poudre du fourneau le moins profond, se portera plutôt vers le haut que celle du plus profond fourneau, duquel la sphere d'activité devra être naturellement plus étendue; ce qui cependant est contraire aux principes que M. BELIDOR a établis. Enfin, si une partie de la poudre enflammée cesse de s'étendre à la ronde, on ne comprend point comment les spheres d'activité qui naissent

CHAPITRE II.

De la grandeur de la Sphere d'activité.

§. 156.

APRÈS avoir précédemment prouvé que toute quantité de poudre forme dans la terre

des différentes charges, pourroient invariablement garder la proportion que M. BELIDOR y donne, savoir, que leur solidité est toujours dans la raison des charges respectives. Comme le Professeur Allemand suppose que l'inflammation s'étend toujours régulièrement à la ronde, en partant du centre du fournau, sa théorie est plus simple, & elle paroit plus juste que celle de M. BELIDOR. Le moyen de se convaincre seroit encore de placer deux fourneaux également chargés, dans un terrein sensiblement homogene; de sorte que l'un fît paroitre son effet à la surface supérieure, & que l'autre opérât peu au-dessous de cette surface; car les diamètres des spheres d'activité seront égaux, selon notre Auteur! mais d'après l'idée de M. BELIDOR, la sphere d'activité du fourneau le plus profond aura plus d'étendue que celle du fourneau le plus élevé, parce qu'ici une partie de la poudre se déterminera entiérement vers le ciel dans le dernier instant de l'inflammation. Il sera assez facile de trouver les rayons des deux spheres d'activité après le jeu des fourneaux, & cette expérience pourra décider sur la maniere dont l'inflammation des poudres se fait, comme sur l'article du poids de l'athmosphere pour le calcul des mines. *Note du Traducteur.*

une sphere d'activité, il faudra déterminer de combien cet effet s'étend à la ronde; car le fond de cette théorie dépend du premier point, & son application du dernier. Il s'agira en général de deux choses, savoir de fixer la grandeur de la sphere d'activité de telle quantité de poudre pour telle sorte de terrein, & puis de montrer comment, par la grandeur de la sphere d'activité d'une quantité quelconque de poudre, on peut calculer à quelle grandeur montera la sphere d'activité d'une autre quantité de poudre dans la même espece de terrein.

§. 157.

Pour calculer, en premier lieu, la grandeur de la sphere d'activité, produite par une quantité donnée de poudre, il seroit sûrement à souhaiter qu'on pût y procéder moyennant la force connue de la poudre, sans faire des épreuves préalables pour cet effet : mais nos lumieres actuelles sur la poudre n'y suffisent point. Ce que nous en savons de plus utile, porte sur des épreuves faites par des bouches à feu, & ne sauroit, par conséquent, s'appliquer que lorsqu'il est question de la vîtesse que la poudre imprime au boulet qu'elle pousse en-avant : mais ce n'est point notre cas. On

pourroit plutôt envisager la sphere d'activité dans la terre, comme un boulet creux de terre, qui interrompt la dilatation du fluide élastique, de même qu'une bombe de fer assez forte l'empêcheroit. M. KARSTENS, grand Mathématicien, indique la méthode de supputer la force d'un tel boulet creux dans sa *Pneumatique*, §. 132 & 133; & quant à l'épaisseur du boulet creux de fer, on la trouveroit avec précision à l'aide de l'expérience de M. MUSCHENBROEK sur la cohésion du fer coulé. Mais d'après quelle regle conclure ensuite de la cohésion du fer à celle des terres? Nous n'en voyons aucune : aussi nous ne prétendons pas rien essayer par cette voie; & en général on agira plus sûrement, si l'on commence d'abord par des expériences, afin d'en déduire les conséquences nécessaires.

§. 158.

Les expériences propres à faire reconnoître la grandeur de la sphere d'activité, sont de deux especes. Les épreuves déja citées (§. 142 & 149) de MM. BELIDOR & LE FEBVRE fournissent la premiere méthode, qui s'offre d'abord à l'esprit comme la plus naturelle. Quoique, selon ces épreuves, la

dimenſion de la ſphere d'activité ne ſoit pas exactement égale de tous côtés, la moyenne des diſtances qui different entre elles, pourroit déterminer aſſez au juſte la grandeur deſirée, quant à ſon uſage; mais les fraix attachés à cette méthode ne la rendent guere praticable, & l'on ſera charmé de trouver la grandeur de la ſphere d'activité, moyennant une mine ordinaire ſans l'appareil de galeries ſi diſpendieuſes.

§. 159.

Il eſt donc queſtion de ſavoir comment, au moyen de l'entonnoir d'une mine, on peut juger de la grandeur de la ſphere d'activité, produite par la poudre dont on a uſé? La ligne de moindre réſiſtance, & le diametre de l'entonnoir, comme les ſeules lignes qu'on obſerve ordinairement, lorſqu'une mine vient de jouer, ne ſuffiſent pas, priſes ſéparément, à fixer cette grandeur; mais ſi l'on ſe rappelle les mines où M. Belidor, en gardant les mêmes lignes de moindre réſiſtance, produiſit, par des différentes charges, & conſéquemment par des différentes ſpheres d'activité, des entonnoirs à des diametres fort différents, on ſentira que la combinaiſon de

ces deux lignes doit toujours indiquer la grandeur de la ſphere, qu'une charge quelconque de poudre peut produire. Car en conſidérant la ligne de moindre réſiſtance, & le demi-diametre de l'entonnoir, comme deux côtés d'un triangle rectangle, ſon hypoténuſe donnera le rayon de la ſphere d'activité, formée par les poudres dont on a chargé la mine, comme on le prouve de la maniere ſuivante. Soit AGB (Fig. 8) l'entonnoir d'une mine, AB ſon diametre, & DC la ligne de moindre réſiſtance; dans cette ſuppoſition, l'hypoténuſe BC, du triangle rectangle DBC, ſera le rayon de la ſphere d'activité de la poudre dont on a uſé : car dans le cas où ce ne feroit pas BC, il faudroit que ce fût une ligne plus grande, comme CF, ou moins grande, comme CE; le dernier eſt impoſſible, parce qu'on a trouvé le demi-diametre de l'entonnoir = DB, & non pas = DE; donc le ſurcroît du diametre EB n'auroit pu être produit, ſi le plus grand rayon des poudres n'eut pas été CB : on iroit également au contraire de l'expérience, ſi l'on vouloit prendre CF pour rayon de la ſphere, parce que dans ce cas, le bord, peu conſidérable, de l'entonnoir BIF, auroit été, à coup ſûr, également enlevé. Il y a cependant une réflexion générale à faire;

c'eſt qu'il ne faut pas méſurer le diametre de l'entonnoir, avant que la terre retombée ne ſoit déblayée le long du bord intérieur BI de l'entonnoir.

§. 160.

Comme nous connoiſſons, par rapport aux épreuves faites à Biſy & à Potſdam, la diſtance à laquelle l'effet des poudres s'eſt porté, & par conſéquent, le rayon des ſpheres d'activité., il ſera néceſſaire, pour prouver ce que nous venons d'établir, d'en faire ici l'application. Dans l'épreuve de M. BELIDOR, (§. 142) la ligne de moindre réſiſtance étoit de 12 pieds, & l'entonnoir avoit 66 pieds de diametre. Si l'on en prend la moitié, on aura un triangle rectangle, dont les côtés ſont de 33 & de 12 pieds, & l'hypoténuſe peu au-delà de 35 pieds. Dans l'épreuve de M. LE FEBVRE, (§. 149) la ligne de moindre réſiſtance étant de 15 pieds, & le diametre de l'entonnoir de 66 pieds, on trouve pour la dimenſion de l'hypoténuſe du triangle rectangle, aux côtés de 15 & de 33 pieds, un peu plus de 36 pieds. Or puiſque l'effet de la poudre s'étendit dans la premiere mine à 38 pieds, même au-delà dans quelques endroits, & que l'effet de la ſeconde mine s'eſt porté juſqu'à

40 pieds ou davantage, il en réſulte du moins, qu'en cherchant le rayon de la ſphere d'activité, ſelon la méthode indiquée, on peut s'attendre avec ſûreté, non-ſeulement que l'effet des poudres autour de la chambre, ſoit de la grandeur qu'on le trouvera, mais qu'il y ſoit encore ſupérieur. Cependant, on convient volontiers que cette méthode n'eſt point ſuſceptible de toute la juſteſſe qu'on pourroit attendre, & qui auroit été à ſouhaiter; puiſque les épreuves, ſemblables à celles de M. BELIDOR, qui étoient indiſpenſables pour établir une maxime regardée comme problématique, ſont trop coûteuſes, ſi elles n'ont d'autre but que de ſeconder la pratique.

§. 161.

Dans le cas donc où l'on ſait avec quelle eſpece de poudre on aura un jour à faire ſauter des mines, il s'agit de faire des mines d'épreuve dans autant de différents terreins qu'on puiſſe rencontrer, en obſervant, au plus juſte, les lignes de moindre réſiſtance & les diametres des entonnoirs; puis on pourra, par leur moyen, calculer le rayon de la ſphere d'activité produite par une certaine charge, de la maniere que nous venons d'indiquer.

Par

Par exemple, si l'on a trouvé le demi-diametre $= e$, & la ligne de moindre résistance $= k$, le rayon r de la sphere d'activité sera $= \sqrt{e^2 + k^2}$, ou, si l'entonnoir est exactement rectangulaire, $= k \sqrt{2}$. Parvenu de la sorte à connoître, une fois pour toutes, le rayon de la sphere d'activité, produite par une certaine charge dans des différents terreins, on peut construire, par ce moyen, & à l'aide des instructions qui vont suivre, des mines, dont les entonnoirs, quoique à une ligne de moindre résistance invariable, auront tous les diametres qu'on leur voudra donner.

§. 162.

Comme notre sujet est de nature, qu'un particulier ne sauroit prendre à tâche de faire les épreuves nécessaires, nous ferons usage dans les exemples suivants de celles de M. BELIDOR. La qualité du terrein a été suffisamment montrée (§. 106); de sorte qu'on pourra le retrouver à ses marques caractéristiques : & M. BELIDOR dit que pour produire des entonnoirs rectangulaires à 10 pieds de ligne de moindre résistance, il faudroit charger le fourneau de 100 livres de poudre dans la premiere espece de terrein, de 170

livres dans la feconde, & de 200 dans la troifieme. Il étoit à portée de le favoir avec toute la justeffe poffible, parce que les épreuves nombreufes de la Fere fe firent toutes dans ces trois efpeces de terres; de plus, on préféra alors de faire les mines de la façon fufdite, & on y fit, par conféquent, d'autant plus d'attention. Il s'enfuit donc que chaque charge a formé, dans les trois efpeces de terres, une fphere d'activité dont le rayon étoit $= \sqrt{200} = 14,142$ pieds.

§. 163.

Ayant reconnu la fphere d'activité d'une certaine quantité de poudre, dans tous les différents terreins, il faudra déterminer celles qui fe produifent par des charges plus ou moins fortes. On peut en venir à bout fans de nouvelles épreuves, fi l'on admet que l'effet de la poudre foit proportionné à fa quantité; de forte qu'une quantité 2, 3, ou *n* fois plus grande, produife une fphere d'activité 2, 3, ou *n* fois plus grande. Mais comme l'effet de la poudre dans les terres homogenes eft toujours fphérique, même fi l'on prend des coffres cubiques, comme nous avons fuppofé, il faut que les fpheres d'activité qui pro-

viennent des charges multiples, soient proportionnées à celles des charges simples, comme le font en général les corps sphériques, savoir comme les cubes de leurs rayons.

§. 164.

Si donc la quantité de poudre a, produit une sphere d'activité dont le rayon $= r$, la quantité $2\,a$ en produira une dont le rayon $= r\sqrt[3]{2}$: car comme par §. 163, $a : 2\,a :: r^3 : \frac{2\,a\,r^3}{a}$, le cube du rayon de la sphere d'activité d'une quantité double de poudre est $= \frac{2\,a\,r^3}{a} = 2\,r^3$; donc le rayon $= \sqrt[3]{2\,r^3} = r\sqrt[3]{2}$. De même la charge de poudre $3\,a$ formera une sphere d'activité dont le rayon $= r\sqrt[3]{3}$, & la charge $4\,a$ une autre dont le rayon $= r\sqrt[3]{4}$; & généralement toute charge multiple na formera une sphere d'activité dont le rayon $= r\sqrt[3]{n}$, la quantité n étant un nombre entier ou fractionnaire.

§. 165.

Comme on sera d'autant plus convaincu de la justesse de cette regle, que de la chose elle-

même, si on la trouve d'accord avec l'expérience, nous allons donner un exemple fondé sur des épreuves. M. BELIDOR nous apprend que 300 livres de poudre ont produit une sphere d'activité dont le rayon avoit $17\frac{1}{2}$ pieds, & que 1000 livres ont formé, dans le même terrein, une sphere d'activité au rayon de $26\frac{1}{4}$ pieds : si l'on suppose qu'on ne connoisse point ce rayon, & qu'on voudroit le trouver moyennant la premiere épreuve, on aura $n = 3\frac{1}{3} = \frac{10}{3}$ & $r = 17\frac{1}{2} = 17,5$; ainsi le rayon cherché de la sphere d'activité sera $= 17,5\sqrt[3]{\frac{10}{3}}$, &, en calculant par les logarithems, on aura

$$\log.\ 10 = 1.0000000$$
$$\log.\ 3 = 0.4771213$$
$$\log.\ \tfrac{10}{3} = 0.5228787$$
$$\log.\ \sqrt[3]{\tfrac{10}{3}} = 0.1742929$$
$$\log.\ 17,5 = 1.2430380$$
$$\log.\ 17,5\sqrt[3]{\tfrac{10}{3}} = 1.4173309$$

ce logarithme appartient au nombre 26, 141, qui désigne le rayon de la sphere d'activité selon le calcul ; ce qui répond, à quelques pouces près, à l'expérience.

§. 166.

Si l'on connoît la ligne de moindre résistance & le diametre de l'entonnoir d'une mine d'épreuve, on peut trouver par la maniere indiquée (§. 159), le rayon de la sphere d'activité, & l'on aura ainsi un nouveau moyen d'éprouver la façon de calculer que nous avons énoncée. Par exemple, en faisant usage des épreuves de M. Belidor, rapportées §. 106, & en considérant les lignes de moindre résistance & les demi-diametres qui y répondent, comme les côtés de triangles rectangles, si l'on en cherche les hypoténuses, on aura les rayons des spheres d'activité produites par les charges qui y sont exprimées : mais on trouvera la même chose si l'on met pour base les épreuves fondamentales (§. 162), & qu'on procede suivant la méthode de §. 165. Si le dernier résultat s'accorde avec le premier, ce sera une nouvelle preuve de la justesse de cette méthode.

§. 167.

Il s'entend qu'il faut avoir égard à l'espece de terrein où la mine a été construite, afin de faire un choix parmi les trois épreuves

fondamentales (§. 162). Nous prendrons pour exemple la huitieme épreuve (§. 106), & ferons le calcul selon les deux manieres. La ligne de moindre résistance étoit de 10 pieds, le demi-diametre de l'entonnoir de 18 pieds; donc par le §. 161, le rayon de la sphere d'activité $= \sqrt{324 + 100} = \sqrt{424} = 20, 59$ pieds. La charge qu'on a employée, étoit de 320 livres; & comme l'épreuve fut faite dans la premiere sorte des terreins décrits par M. Belidor, on a $n = \frac{320}{100} = \frac{16}{5}$ & $r =$ 14, 142; donc le rayon de la sphere d'activite, dérivé de la charge $= 14, 142 \sqrt[3]{\frac{16}{5}}$; ce qui, en calculant par les logarithmes, donne

log. 16	= 1.2041200
log. 5	= 0.6989700
log. $\frac{16}{5}$	= 0.5051500
log. $\sqrt[3]{\frac{16}{5}}$	= 0.1683833
log. 14, 142	= 1.1505150
log. 14, 142 $\sqrt[3]{\frac{16}{5}}$	= 1.3188983

ou le rayon de la sphere d'activité = 20, 84 pieds; ce qui le rend de 2 pouces plus grand que nous l'avons trouvé tantôt: erreur qui n'importe rien dans les choses qui sont de pratique.

§. 168.

Quiconque n'eſt pas accoutumé à calculer par des formules générales, peut y ſuppléer au moyen de la regle de proportion, & l'extraction de la racine cubique, en diſant : comme la charge de la mine d'épreuve eſt à la charge donnée, ainſi le cube du rayon de la ſphere d'activité de la mine d'épreuve eſt au cube du rayon de la ſphere d'activité qu'on cherche. Or les charges des mines d'épreuve ſont, ſelon la qualité des trois ſortes de terreins, de 100, 170 ou 200 livres, & le cube du rayon de leur ſphere d'activité 2828, 427, au-lieu duquel M. BELIDOR ſe ſert du nombre 2829 : on trouvera donc, moyennant ces données, le cube du rayon de la ſphere d'activité qu'on cherche, pour chaque charge priſe à volonté; & en extrayant la racine cubique, on aura le rayon lui-même, quoique par une voie plus difficile que par celle des logarithmes.

§. 169.

En ſuivant la méthode du §. 165, nous avons calculé les rayons des ſpheres d'activité pour les charges, depuis 50 juſqu'à 3000

livres de poudre, & nous les porterons dans une Table, afin d'en tirer parti dans la ſuite.

Charge de Poudre.	*Rayons de la Sphere d'activité dans trois eſpeces de terreins.* 1.	2.	3.
Livres.	*Pieds.*	*Pieds.*	*Pieds.*
50	11, 229	9, 401	8, 901
100	14, 142	11, 847	11, 220
150	16, 189	13, 563	12, 848
200	17, 817	14, 928	14, 141
250	19, 192	16, 080	15, 233
300	20, 395	17, 088	16, 187
350	21, 470	17, 990	17, 041
400	22, 393	18, 808	17, 817
450	23, 346	19, 561	18, 530
500	24, 181	20, 260	19, 192
600	25, 296	21, 530	20, 395
700	27, 051	22, 648	21, 470
800	28, 282	23, 627	22, 393
900	29, 453	24, 628	23, 346
1000	30, 466	25, 507	24, 181
1500	34, 875	28, 990	27, 681
2000	38, 385	32, 187	30, 466
2500	41, 350	34, 645	32, 827
3000	43, 949	36, 819	34, 882



CHAPITRE III.

De la situation de la Sphere d'activité, relativement à la surface la plus voisine.

§. 170.

LA sphere d'activité dont nous venons d'établir la réalité & de considérer la grandeur, seroit le plus souvent inutile, ou du moins ne produiroit point l'effet qu'on en attend ordinairement, si elle se trouvoit dans un tel éloignement de la surface terrestre, que nous avons supposé, pour concevoir des idées générales. Mais ce dont elle n'est point capable dans une pareille situation, s'ensuivra quand on la rapproche de l'horison; ainsi il est nécessaire de faire observer les différentes situations qu'elle peut avoir par rapport à l'horison, & de choisir ensuite celles qui sont praticables & les plus avantageuses.

§. 171.

Quand on ordonne un globe par rapport à un plan, le premier cas sera lorsque le plan y touche; & cela a lieu, relativement à la sphere d'activité, lorsque le rayon qu'on peut

tirer perpendiculairement à la ſurface la plus voiſine, l'atteint ſans paſſer deſſus ni ſans reſter deſſous : le ſecond cas eſt, que le plan paſſe par le centre du globe ; & le troiſieme cas comprend toutes les ſituations du plan qu'on lui peut faire prendre parallèlement entre les deux precédentes, le long du rayon du globe. Ces trois ſituations, en les appliquant à la ſphere d'activité, ſuffiſent à notre but, & il ſeroit inutile de développer un plus grand nombre de cas poſſibles.

§. 172.

Comme ſuivant le Chapitre précédent, on peut trouver le rayon de la ſphere d'activité, pour chaque quantité de poudre, moyennant des épreuves fondamentales, il ſeroit aiſé de fixer la profondeur du fourneau deſſous la ſurface ſupérieure, ſi l'on ſe propoſoit de faire des mines dont le rayon de la ſphere d'activité ne fît que toucher cette ſurface ; mais comme on n'en fait guere uſage, on peut ſe paſſer de recherches ultérieures. Il en eſt autant du troiſieme cas, où la ſurface ſupérieure, en coupant la ſphere d'activité, paſſeroit par ſon centre, parce qu'une mine ordinaire ſeroit pour lors impoſſible. Il

ne nous reſte donc maintenant qu'à conſidérer les cas où la ligne de moindre réſiſtance eſt inférieure au rayon de la ſphere d'activité.

§. 173.

Pour réduire ces cas, encore aſſez différents entre eux, à quelque nombre déterminé, ſuppoſons qu'on ait partagé le rayon de la ſphere d'activité en 10, 100, ou autant de parties égales qu'on veut, que ce rayon ſoit = 1, & qu'à la charge qui répond aux ſpheres d'activité, on donne des lignes de moindre réſiſtance égales au rayon diminué de 1, 2, 3, &c. de ces parties. Par exemple, ſi l'on diviſe le rayon de la ſphere d'activité AB (Fig. 9) en 10 parties égales, on pourra conſtruire, moyennant la charge qui convient à cette ſphere d'activité, les mines à neuf lignes de moindre réſiſtance, qui, toutes différentes entre elles, formeront autant d'entonnoirs qui différront entre eux. Car moins on donne de parties du rayon à la ligne de moindre réſiſtance, d'autant plus grand ſera le ſegment qui tombe par-deſſus l'horiſon; & à proportion que la hauteur du ſegment accroit, la hauteur du cône diminue, tandis que le diametre de ſa baſe augmente: de ſorte

que les lignes de moindre réſiſtance 9 B, 8 B..... 1 B, donneront les cônes *c* B *d*, *e* B *f*,... *t* B *u*, qui pour le moins conſtituent l'eſſentiel d'autant d'entonnoirs.

§. 174.

Le procédé de cet exemple eſt univerſel, & donne l'idée la plus diſtincte de la formation d'un entonnoir de mine. Car dès que la ligne de moindre réſiſtance eſt inférieure au rayon de la ſphere d'activité, un ſegment de cette ſphere tombe au-deſſus de l'horiſon ou de la ſurface la plus voiſine. Quant à la charge de poudre capable de produire la ſphere d'activité, une partie ne ſauroit être prodiguée ſur le ſegment qui manque dans le préſent cas, & paroît ainſi ſuperflue. Cette partie ne ſauroit non plus être anéantie, il faut qu'elle porte ſon effet ailleurs; & cela ne peut ſe faire que ſur ce ſecteur de la ſphere d'activité, où elle a été une fois déterminée: comme le ſegment manque au ſecteur, & qu'il n'en reſte que le cône, il faut que la force de la poudre deſtinée audit ſegment y ſoit employée; or comme la partie de la force néceſſaire au cône a déja produit la portion de la ſphere d'activité qui lui appartient, il faut que la

partie excédente faſſe davantage, c'eſt-à-dire, qu'elle enlevera le cône.

§. 175.

L'expoſé naturel de la façon dont l'entonnoir ſe forme, méritera ci-après un examen plus détaillé. Ici nous ne nous arrêterons proprement qu'à la différente proportion de la ligne de moindre réſiſtance au diametre de l'entonnoir, en faiſant préliminairement la remarque ſuivante. Si d'une mine qui forme la ſphere d'activité au rayon AB, la ligne de moindre réſiſtance eſt 6 B, le ſegment *i* A *k* tombe au-deſſus de la ligne horiſontale IK, & la force de poudre qui lui eſt due, s'employe à enlever le cône *i* B *k*, qui, avec le ſegment, forme le ſecteur *i* A *k* B. D'après cet expoſé, il ne faut pas conclure, contre notre deſſein, que l'entonnoir qui ſe forme, ſoit ſimplement le cône *i* B *k*; cela heurteroit l'expérience, qui fait voir que l'effet de la poudre produit un approfondiſſement au bas de la chambre B, & que les parois de l'entonnoir, loin de former des lignes droites *i* B & *k* B, font des lignes courbées en-bas : nous nous étendrons ſur ce point dans la ſuite. Cependant il eſt ſûr que ceci ne chan-

ge rien au diametre *i k* de l'entonnoir; car comme les rayons de la ſphere d'activité *i* B & *k* B ſont égaux au rayon AB, & que celui-ci a été dérivé des diametres trouvés aux mines d'épreuve, ſelon le §. 159, la concluſion inverſe de celui-ci au diametre de l'entonnoir, doit également avoir lieu.

§. 176.

Comme les épreuves (§. 106) indiquoient en général que la proportion de la ligne de moindre réſiſtance au diametre de l'entonnoir, n'eſt rien moins que conſtante, comme on le crut autrefois, mais qu'elle eſt au contraire très-variable, nous voici maintenant en état de déterminer les différentes proportions qui peuvent exiſter, ſans avoir recours à de nouvelles épreuves, par leſquelles il n'eſt pas même poſſible d'y parvenir qu'avec bien de la peine. Que l'on conſidere, pour cet effet, les lignes compriſes dans le quart de cercle AB *z*, & l'on verra clairement, que ſi l'on prend AB pour le ſinus total, les demi-diametres des entonnoirs *d* 9, *f* 8, ... *v* 1, qui y ſont perpendiculaires, ſeront des ſinus droits, & les lignes de moindre réſiſtance 9 B, 8 B, ... 1 B, des co-

ſinus. On aura donc les proportions qu'on cherche au moyen des Tables de ſinus, en tranſcrivant les ſinus droits qui s'approchent le plus des $\frac{9}{10}$, $\frac{8}{10}$, $\frac{7}{10}$, &c. du ſinus total, de même que leur co-ſinus, qui, à la vérité, ne donneront que les demi-diametres des entonnoirs, ſi les ſinus dénotent les lignes de moindre réſiſtance; mais il ne s'agit que de les doubler, pour avoir les diametres entiers.

§. 177.

Dans le cas de la Fig. 9, où le rayon a été diviſé en 10 parties égales, on aura, en procédant de la ſorte, la proportion qui va ſuivre, entre les lignes de moindre réſiſtance & les diametres des entonnoirs poſſibles, exprimée par les parties du rayon de la ſphere d'activité qu'on ſuppoſe = 1.

Lignes de moindre réſiſtance.	*Diametres des Entonnoirs.*	*Angles au ſommet des Cônes.*
0,9	0, 9	51° 40′
0,8	1, 2	73°. 46′
0,7	1, 4	91° 8′
0,6	1, 6	106° 14′
0,5	1, 7	120° 0′
0,4	1, 8	132° 50′
0,3	1, 9	145° 4′
0,2	1,95	156° 54′
0,1	1,99	168° 32′

On a auſſi marqué les angles que renferment les côtés de l'entonnoir ou du cône de la mine, qui, pour le moins, peuvent montrer jufqu'à quel point ces divers entonnoirs s'écartent de l'entonnoir rectangulaire, le feul admis autrefois. Celui-là n'a pu entrer dans la Table, vu la divifion arbitraire du rayon de la fphere d'activité en 10 parties, quoique le cas où la ligne de moindre réfiftance eft = 0, 7 s'en approche beaucoup; car pour un entonnoir rectangulaire, la ligne de moindre réfiftance auroit 0, 7071 du rayon de la fphere d'activité, & le diametre de l'entonnoir 1,4142 de ces parties.

§. 178.

Le rayon de la fphere d'activité, formée par une certaine quantité de poudre, par exemple de 500 livres, étant donné, il eft aifé de réduire la proportion précédente à la mefure commune de pieds. Conformément au §. 169, ce rayon fera, pour un terrein médiocre, peu au-delà de 20 pieds; en négligeant le furplus peu important, on aura les entonnoirs fuivants:

Lignes

Lignes de moindre résistance.	*Diametres des Entonnoirs.*
Pieds.	*Pieds.*
18	18
16	24
14	28
12	32
10	34
8	36
6	38
4	39
2	39, 8

§. 179.

Quoique nous soyons assurés que la maniere précédente de trouver la proportion des lignes de moindre résistance aux diametres des entonnoirs par les tables des sinus, est d'une justesse suffisante, nous ne saurions nous dispenser d'indiquer quelques autres méthodes de faire ce calcul, comme préférables, dans certains cas, à celle que nous venons de donner. Nous avons supposé jusqu'ici le rayon de la sphere d'activité = 1, partie afin de mieux parcourir tous les cas, & partie pour rendre les proportions d'autant plus générales : cela ne nuit à rien en soi, parce qu'on

peut réduire les proportions générales à d'autres qui conviennent à chaque rayon particulier : cependant il eſt évident qu'on peut de même aller directement au but, de la maniere ſuivante. Comme le quarré de la ligne de moindre réſiſtance, & celui du demi-diametre de l'entonnoir pris enſemble, ſont toujours égaux au quarré du rayon de la ſphere d'activité, on peut, après avoir quarré le rayon de la ſphere d'activité, prendre ſucceſſivement une certaine partie de ce rayon pour ligne de moindre réſiſtance, ſouſtraire ſon quarré de celui du rayon, & extraire la racine quarrée du reſte. Le double des racines qu'on obtient ſucceſſivement, donnera les diametres qu'on cherche ; & l'on peut faire choix de ceux qui rempliſſent leur objet, afin d'y proportionner la ligne de moindre réſiſtance.

§. 180.

Par exemple, ſuppoſons le rayon de la ſphere d'activité = 27 pieds ou tel qu'une charge de 700 livres de poudre le donne dans un terrein de la moindre conſiſtance (§. 169) : puis qu'on veuille conſtruire une mine à 10 pieds de ligne de moindre réſiſtance, & qu'on demande le diametre de ſon entonnoir. Dans

ce cas, on soustrait le quarré de la ligne de moindre résistance = 100, de 729; ce qui fait le quarré du rayon : & l'on extrait la racine quarrée du reste = 629; ce qui donne 25, dont le double = 50 pieds, sera le diametre desiré de l'entonnoir. Si l'on eut choisi une autre ligne de moindre résistance, on auroit obtenu un diametre différent; & ce ne sera qu'en variant la ligne de moindre résistance, qu'à la fin on apprendra à connoître le diametre le plus convenable.

§. 181.

Si enfin, sans connoître la sphere d'activité produite par la charge, on savoit, par le moyen d'une épreuve, & la ligne de moindre résistance & le diametre de l'entonnoir, on pourroit calculer la ligne de moindre résistance pour tout autre diametre d'entonnoir, sans chercher préalablement le rayon de la sphere d'activité. Supposé que par une épreuve, on ait appris qu'une certaine charge produise le diamêtre *l m*, la ligne de moindre résistance étant 5 B, & qu'on veuille savoir le diametre qu'elle produira dans un pareil terrein, si la ligne de moindre résistance est de 7 B ou tel qu'on la voudra : comme les

rayons de la ſphere d'activité (Fig. 9) h B, m B, de même que ceux de toute autre ſphere, ſont toujours égaux, & qu'il paroît, par la figure, que les lignes de moindre réſiſtance & les demi-diametres correſpondants ſont les côtés de triangles rectangles, dont les rayons de la ſphere d'activité ſont les hypoténuſes, il eſt manifeſte que les ſommes des quarrés de chaque couple de ces lignes doivent être égales. Si en conſéquence on nomme K la ligne de moindre réſiſtance connue par l'épreuve, & le demi-diametre de ſon entonnoir R, la ligne de moindre réſiſtance que l'on veut prendre pour la même charge k, & le demi-diametre à chercher r, on aura $K^2 + R^2 = k^2 + r^2$ & $r = \sqrt{K^2 + R^2 - k^2}$. Si l'on a ſous la main une Table des nombres quarrés & des logarithmes, il eſt aiſé de trouver de cette maniere ce qu'on cherche. Du reſte, il s'entend que par la même voie on peut également trouver la ligne de moindre réſiſtance, ſi le diametre de l'entonnoir eſt donné; car dans ce cas, on aura $k = \sqrt{K^2 + R^2 - r^2}$.

§. 182.

Par exemple, il paroît par les épreuves de

M. BELIDOR, (§. 162) qu'en prenant une ligne de moindre résistance de 10 pieds dans une terre de forte consistance, 200 livres de poudre feront un entonnoir de 20 pieds de diametre : supposé qu'on veuille user de la même charge dans un pareil terrein pour un entonnoir à 8 pieds de ligne de moindre résistance, & on demande quel en sera le diametre. Par le paragraphe précédent, on a $r = \sqrt{100 + 100 - 64} = \sqrt{136} = 11,7$ pieds ou environ, donc le diametre de l'entonnoir $= 23,4$ pieds. Si le diametre est donné, par exemple, de 22 pieds, & qu'on desire savoir la ligne de moindre résistance, on aura selon la précédente formule $k = \sqrt{100 + 100 - 121} = \sqrt{79} = 8,3$ pieds; mais il est à observer rélativement à la derniere méthode, que comme on ignore le rayon de la sphere d'activité, on s'expose au hasard ou de trop approcher de la grandeur de ce rayon en prenant arbitrairement la ligne de moindre résistance, ou bien de faire les diametres si grands, que les lignes de moindre résistance deviennent trop petites : dans ces deux cas, on n'obtiendroit point d'entonnoir. Nous ferons voir dans le Chapitre suivant, comment ces cas peuvent arriver, & la maniere de les éviter.

CHAPITRE IV.

Comment la force des Poudres se distribue aux parties de la Sphere d'activité.

§. 183.

IL a été suffisamment montré que toute quantité de poudre enflammée sous terre, produit une sphere d'activité d'un certain rayon, & que, par la même charge, on peut former des entonnoirs tous différents entr'eux, toutes les fois qu'on diversifie la proportion de la ligne de moindre résistance au rayon. Dans chacun de ces cas, dont les principaux ont été indiqués (§. 177), l'horison retranche un autre segment de la sphere d'activité, le cône, qui, ajouté au segment, forme un secteur de la sphere; de même que le secteur prend une autre configuration : & généralement la proportion de la sphere & de ses parties, varie en bien des manieres. Il sera utile de nous occuper de ces proportions conformément à notre promesse (§. 175), d'autant plus qu'elles donneront lieu à plusieurs résultats qui peuvent servir à la pratique.

§. 184.

Nous rendrons ces proportions d'après les Traités complets de Géometrie où elles sont développées, & nous en ferons tout de suite l'application. Si la proportion du rayon à la circonférence est comme $r : p$, la solidité de la sphere dont le rayon $= a$, sera $\frac{p}{3r} \times 2a^3$: de même si l'on exprime par d, la hauteur du segment compris dans le secteur AcBd, la solidité de ce secteur cônique sera $= \frac{p}{3r} \times da^2$. Il s'ensuit donc que la sphere est au secteur comme $\frac{p}{3r} \times 2a^3 : \frac{p}{3r} \times da^2$, ou comme $2a : d$, c'est-à-dire comme le diametre de la sphere est à la hauteur du segment, ou, ce qui revient au même, comme le rayon est à la moitié de la hauteur du segment.

§. 185.

Si donc on suppose en général une sphere d'activité dont le rayon $= 1$, qu'on divise en 9 parties égales comme dans la Fig. 9, on aura sans peine la solidité des secteurs AcBd, AeBf, AgBh, &c. que la figure représente en profil. Car en écrivant dans une ligne la hauteur des segments A9, A8, A7, &c. en parties du rayon de la sphere d'activité, & leurs moitiés dans une ligne vis-à-vis, cel-

les-ci montreront la quantieme partie qui convient au ſecteur d'une ſphere d'activité dont le rayon = 1. Dans la Table ſuivante, on a mis, au-lieu de la hauteur des ſegments *d*, leurs compléments à 1, ou la ligne de moindre réſiſtance *k*; la ſeconde colonne indique la ſolidité des ſecteurs *s*.

k	*s*
0, 9	0 05
0, 8	0 1
0, 7	0 15
0, 6	0 2
0, 5	0 25
0, 4	0 3
0, 3	0 35
0, 2	0 4
0, 1	0 45

§. 186.

Il eſt manifeſte que chacun des ſecteurs coniques de la ſphere A*c*B*d*, A*e*B*f* &c. eſt partagé par les plans horiſontaux CD, EF &c. déterminés par les lignes de moindre réſiſtance 9B, 8B, &c. dans un cône tel que *c*B*d*, & un ſegment de ſphere comme A*cd*; & il ne s'agit que de fixer la proportion de ces deux ſolides, qui, pris enſemble, forment le ſecteur de la ſphere. Les expreſſions générales, ſi l'on garde les dénominations précé-

dentes, ſont pour le cône $\frac{p}{2r} \times 2ad - d^2 \times \frac{a-d}{3}$, & pour le ſegment de ſphere $\frac{p}{2r} \times \frac{3ad^2 - d^3}{3}$; donc ils ſont en raiſon de $2ad - d^2 \times a - d : 3ad^2 - d^3$ ou $2ad - d^2 \times a - d : \frac{3ad^2 - d^3}{2ad - d^2} \times 2ad - d^2$ ou $a - d : d + \frac{ad}{2a - d}$. Mais par la figure, il paroît que $a - d$ eſt égal à la ligne de moindre réſiſtance k; donc ſi l'on ſubſtitue k à $a - d$, on aura pour la proportion du cône au ſegment de ſphere $k : \frac{2a + k}{a + k} \times d$; ou bien ſi l'on ſuppoſe le rayon $= 1$, on aura celle-ci $k : \frac{2 + k}{1 + k} \times d$.

§. 187.

En appliquant cette formule à chaque ſecteur conique dans le cas de (§. 185), on aura la proportion du cône C & du ſegment A qui le compoſent tel que voici:

k	*C*	*A*
9	171	29
8	144	56
7	119	81
6	96	104
5	75	125
4	56	144
3	39	161
2	24	176
1	11	189

§. 188.

Ces proportions calculées en nombres entiers pour le cône & le ſegment de la ſphere, ont l'incommodité de ne pouvoir être ſaiſies d'un ſeul coup d'œil, parce que les nombres ſont aſſez grands : on en auroit pu abréger quelques-uns, non pas tous ; auſſi nous avons mieux aimé n'y rien changer, par la raiſon qu'en faiſant la comparaiſon de deux nombres correſpondants, on trouvera que par-tout ils font 200 enſemble; ce qui fournira quelques avantages dans la ſuite, quand il s'agira de partager une certaine quantité donnée dans la même proportion. Cependant ſi l'on veut des nombres plus abrégés, la formule du §. 186 donnera les ſuivants :

C	*A*
9	$1\frac{10}{19}$
8	$3\frac{1}{9}$
7	$4\frac{13}{17}$
6	$6\frac{1}{2}$
5	$8\frac{1}{3}$
4	$10\frac{2}{7}$
3	$12\frac{3}{13}$
2	$14\frac{2}{3}$
1	$17\frac{2}{11}$

§. 189.

La proportion, que nous venons d'indiquer, du ſecteur conique à la ſphere, & celle du cône au ſegment, qui tous deux forment ledit ſecteur, ne préſentent proprement que la proportion des parties de cette dénomination, qui compoſent une ſphere d'activité; cependant elles ſont connoître quelque choſe en outre qui peut s'en déduire ſans effort d'eſprit. En effet, il s'enſuit des principes établis dans le premier Chapitre ſur la ſphere d'activité, que la force des poudres employée à produire une telle ſphere, eſt également diſtribuée ſur toutes les pyramides infiniment petites qui la compoſent; mais comme on peut dire la même choſe des ſecteurs coniques d'une grandeur & proportion déterminée par rapport à toute la ſphere d'activité, il faut que les nombres de la ſeconde colonne (§. 185) marquent en même-temps quelle partie de la force des poudres s'employe ſur chaque ſecteur de la Fig. 9 dans une ſphere d'activité dont le rayon = 1. Par cette raiſon, les nombres §. 187 indiquent non-ſeulement les proportions des cônes aux ſegments qui forment les ſecteurs, mais donnent également à con-

noître la part due à chacun dans la force des poudres destinée au secteur.

§. 190.

Supposé qu'en construisant une mine, on ait pris une charge de 500 livres. Il paroît par §. 169 que dans un terrein médiocre, elle produira une sphere d'activité dont le rayon = 20 pieds; & moyennant une ligne de moindre résistance de 0, 6 du rayon ou de 12 pieds, on obtiendra un entonnoir qui, par §. 178, aura 32 pieds de diametre. On voit d'ailleurs par §. 185, que si la ligne de moindre résistance, Fig. 9, est 6 B, le secteur de sphere A *i k* B ne sera que 0, 2 de toute la sphere d'activité; d'ailleurs, le cône *i* B *k* sera au segment A *i k*, comme 96 à 104 par §. 187. En appliquant ceci à la distribution de la force des poudres, dont nous venons de faire mention, il s'ensuit qu'il n'y a d'employé de la charge de 500 livres que 100 livres sur le secteur A*i*B*k*. Ces 100 livres par le §. 185, sont distribuées de sorte que 48 sont employées au cône *i* B*k*, & 52 au segment *i* A*k*. Comme dans le cas supposé 6 B est la ligne de moindre résistance, & I K la ligne horisontale, il faut que le segment A *ik* manque à la sphere d'activité com-

plete AxWz dont la charge de poudre étoit capable. Les 52 livres de la charge destinées à ce segment ne sauroient donc y être employées; & comme elles doivent de nécessité opérer dans le secteur AiBk auquel elles sont destinées, il faut qu'elles soient prodiguées sur le cône iBk qui en reste : ainsi on a lieu de s'attendre à quelque chose de plus de la part de ce cône, puisqu'une force plus que double y opére, c'est-à-dire, qu'il sera chassé en-haut, & par dessus le plan horisontal IK, avec une force de 52 livres de poudre destinées au segment Aik.

§. 191.

Cette maniere de se représenter l'effet des poudres dans la formation d'une sphere d'activité, semble aussi naturelle que susceptible d'être appliquée à ce qui a été dit dans le Chapitre précédent. En effet, la situation variée de la même sphere d'activité est seule en état de produire des entonnoirs dont la proportion de la hauteur au diametre differe de beaucoup (§. 178). Cependant il faut observer les proportions indiquées des parties d'une sphere d'activité, avant que d'être à même de déterminer si tous les différents entonnoirs qui paroissent possibles, se produiront en effet.

Car comme la partie de la charge destinée au segment retranché par l'horison, doit proprement enlever le cône ou entonnoir de mine, il est évident en premier lieu que si le segment est très-inférieur au cône, cette partie de la charge peut devenir tellement petite, qu'elle ne suffise plus à enlever ce cône. D'autre côté, on peut imaginer le cas où le segment comparé au cône devient si grand, que celui-ci n'est plus capable de résister à l'effort des poudres jusqu'à leur entiere inflammation; de sorte que la sphere d'activité ne seroit pas formée en entier. Ces deux cas méritent une considération ultérieure.

§. 192.

Le premier cas, où le cône devient si grand par rapport au segment de sphere, que la poudre qui appartient au dernier, ne suffit plus à chasser dehors le cône : ce cas, disons-nous, est à craindre par deux raisons. La premiere est, que plus la ligne de moindre résistance s'approche en longueur du rayon e l sphere d'activité, plus la partie de l'effort des poudres qui agit sur le secteur entier, va en diminuant (§. 185). La seconde est, que cette partie de l'effort, déja bien petite, est distribuée

dans une grande disproportion entre le cône & le segment (§. 188); de sorte que quelquefois la dixieme partie de ce qui en appartient au secteur sphérique, pourra à peine être employée à enlever le cône. Et quoiqu'à la vérité il se soit déja fait une entiere meurtrissure, & séparation de toutes les particules de terre dans le cône, moyennant la partie de la charge qui lui est propre, il faudra encore un effort assez considérable pour soulever ce fardeau de terres désunies.

§. 193.

Quant au second cas, où la ligne de moindre résistance differe beaucoup du rayon de la sphere d'activité, & où par conséquent le segment devient fort grand comparativement au cône, il semble bien que rien ne puisse s'ensuivre, sinon que le cône soit chassé dehors avec véhémence, parce que la partie de la charge employée à l'enlevement est d'autant plus grande, que le segment a de grandeur; mais si l'on excede une juste proportion, il y aura autre chose à craindre. Pour qu'il se forme une sphere d'activité, on suppose toujours une épaisseur suffisante de terres dessus le fourneau, qui résiste à l'effort du fluide

élaſtique qui ſe développe, juſqu'à ce que toute la poudre ſoit conſumée, afin que la force expanſive puiſſe ſervir à former la ſphere d'activité. Mais cela eſt impoſſible, s'il y a une très-petite épaiſſeur de terres, & que le moindre effort qui ſe déploye perce ſur le champ la ſurface terreſtre ; il eſt donc évident qu'une ſphere d'activité trop rapprochée de l'horiſon, eſt auſſi dans le cas de ne faire plus d'entonnoir.

§. 194.

Afin de jetter plus de jour ſur la théorie des mines, il eſt néceſſaire de fixer exactement les termes entre leſquels tombent les entonnoirs poſſibles, & cela moyennant des épreuves ſur des mines qui ne ſoient pas faites au haſard, mais où l'on ſache d'avance ſur quoi il s'agit d'interroger la nature. Comme perſonne que nous ſachions n'a préſenté l'effet de la poudre dans les mines ſous ce point de vue, il n'y a pas de quoi s'étonner que de telles épreuves nous manquent encore. Il faut donc ſe contenter de voir quel parti on pourra tirer de quelques épreuves, quoique imparfaites dans ce genre, & juſques où peuvent conduire les raiſonnements fondés ſur les proportions que nous venons d'indiquer.

§. 195.

§. 195.

Nous commencerons par rechercher le cas où le ſegment & le cône ſont égaux ; de ſorte que le plan horiſontal coupe le ſecteur conique en deux également. Nous ne prenons pas ce cas pour le centre des deux termes à chercher, afin de ſoutenir que l'effort des poudres y ſeroit le plus convenablement diſtribué, mais uniquement pour avoir un point fixe deſſus & deſſous lequel ces termes doivent ſe trouver. Pour ſavoir ce point, il faut, dans la proportion du cône au ſegment $k : \frac{2a+k}{a+k} \times d$, indiqué §. 186, mettre $a - k$ à la place de d, comme étant de même valeur. Et puiſque, conformément à notre objet, le cône & le ſegment doivent être égaux, on a cette équation $k = \frac{\overline{2a+k} \times \overline{a-k}}{a+k}$; d'où il s'enſuit que dans le cas ſuppoſé d'égalité, on a $k = \frac{\sqrt{5}-1}{2} \times a = \frac{2,236-1}{2} \times a = 0,618\,a$.

§. 196.

On voit ici que le cône devient égal au ſegment, lorſque la ligne de moindre réſiſtance, ou la profondeur du centre de la ſphere d'ac-

tivité ſous l'horiſon, eſt o, 618, c'eſt-à-dire environ 62 centiemes du rayon. La partie de la charge employée ici à enlever l'entonnoir, eſt auſſi grande que celle qui, peu avant, y avoit opéré la déſunion générale de ſes parties. Cette proportion d'égalité eſt en quelque ſorte le centre de toutes les autres proportions qui peuvent avoir lieu. Car ſi la ligne de moindre réſiſtance devient plus grande que o, 62 du rayon, le cône excédera le ſegment; mais ſi au contraire elle devient plus petite, le cône ſera moindre que le ſegment, & cela toutes les fois dans les proportions déja indiquées §. 187.

§. 197.

Préſentement la queſtion eſt de fixer le cas où le ſegment, de même que la charge qui lui appartient, devient ſi petite qu'elle ne ſoit plus en état d'enlever le cône dont la ténacité eſt déja rompue. Quoique par rapport au poids qu'une certaine quantité de poudre peut enlever, les anciens Auteurs ſur la ſcience des mines different beaucoup entr'eux; ils ne nous ont rien laiſſé qui quadre avec les épreuves rapportées ; mais M. Bélidor remarque que dans le même temps qu'on fit la mine N°.

12 du §. 106, on en conſtruiſit une à la même profondeur, & chargée de 80 livres, qui, au-lieu de faire un entonnoir, ne ſoulevoit qu'un monticule de 2 pieds de haut. Si l'on cherche le rayon de la ſphere d'activité de cette quantité de poudre d'après les regles connues, on le trouve exactement de 11 pieds; ainſi la ligne de moindre réſiſtance qui étoit de 10 pieds, faiſoit environ 0, 9 du rayon: dans de pareilles circonſtances, il ne ſe fit point encore d'entonnoir, bien que les terres furent ſoulevées peu au-delà de la différence du rayon de la ſphere d'activité à la ligne de moindre réſiſtance. Dans un autre temps, il a obſervé que parmi quelques fourneaux à la profondeur de 15 pieds, il y en avoit un chargé à 90 livres de poudre, qui, au-lieu de faire un entonnoir, ne formoit qu'une éminence ſphérique de 3 pieds de haut & de 20 en largeur. Comme l'eſpece de terrein où ces mines furent conſtruites n'eſt point marquée, on ne ſauroit calculer le rayon de la ſphere d'activité; mais il eſt très-probable qu'il ait été de $15 + 3 = 18$ pieds; car ſi l'on multiplie enſemble les deux parties du diametre 3 & 15 + 18 ou 33, ce produit donne le quarré de la demi-corde ou du demi-diametre de l'éminence au plus près poſſible : car $3 \times 33 = 99$ ne dif-

fere guere du quarré de $10 = 100$; mais cela n'auroit pu arriver, si $15 + 3$ ou 18 n'eût pas été le rayon de la sphere d'activité. Or la ligne de moindre résistance étoit $\frac{5}{6} = 0,833$ du rayon de la sphere d'activité. Ainsi l'on voit qu'il ne se forme pas d'entonnoir encore, dans le cas même où la ligne de moindre résistance seroit réduite à environ 0, 8 du rayon.

§. 198.

Quoique parmi les épreuves connues de M. Belidor, il ne s'en trouve aucune qui mene plus près du but, nous penchons à croire que l'entonnoir se formera dès que la ligne de moindre résistance est tant soit peu encore diminuée. Peut-être cela arrivera-t-il déja lorsqu'elle devient 0, 8, ou au moins 0, 75 du rayon de la sphere d'activité. Dans ce cas, le rapport du cône au segment sera de 21 à 11 ; ce qui nous porte à présumer que la mine en quelque degré avantageuse, est celle où le segment est exactement moitié du cône, & où, pour enlever l'entonnoir, il faut la moitié de l'effort qu'il faut pour meurtrir les terres de cet entonnoir.

§. 199.

Pour déterminer la moindre profondeur où

le centre de la ſphere d'activité peut ſe mettre ſans nuire à ſa formation, il ſemble qu'on pourroit faire la concluſion inverſe, & le dernier entonnoir poſſible ſeroit celui où le cône eſt moitié du ſegment; mais le moyen le plus ſûr, eſt d'avoir également recours à des épreuves, qui, en quelque maniere, peuvent venir ici à propos.

§. 200.

Quant aux épreuves de cette eſpece, voilà ce qu'elles font connoître. La dixieme & la douzieme mine des épreuves rapportées (§. 106), ont donné les entonnoirs les plus évaſés; la proportion de la ligne de moindre réſiſtance au diametre de l'entonnoir par rapport à la premiere, étant de 1 à $4\frac{2}{3}$, & pour la ſeconde de 1 à $4\frac{1}{2}$. Si, moyennant la charge & le terrein connu, on calcule, ſur les principes des §. 162 & 163, le rayon de la ſphere d'activité de la premiere mine, on le trouve = 39, 12 pieds; & comme la ligne de moindre réſiſtance étoit de 15 pieds, elle eſt 0, 38 du rayon de la ſphere. Pour la deuxieme de ces mines, on trouve le rayon de la ſphere d'activité = 25, 53 pieds; donc la ligne de moindre réſiſtance qui étoit de

10 pieds, eſt 0, 39 du rayon de la ſphere. Mais comme dans ces deux cas, la ligne de moindre réſiſtance étoit environ 0, 4 du rayon, il s'enſuit, par le §. 187, que le cône a été ici au ſegment environ dans la raiſon de 56 à 144 = 7 : 18, c'eſt-à-dire que le ſegment étoit preſque triple du cône; & cependant le dernier étoit capable de faire réſiſtance à l'impulſion de la poudre, juſqu'à la formation entiere de la ſphere d'activité. Si l'on met encore en ligne de compte la mine du §. 142, où la ligne de moindre réſiſtance étoit au diametre de l'entonnoir, comme 1 à $5\frac{1}{2}$, & où, par le §. 160, le rayon de la ſphere d'activité étoit pour le moins de 35 pieds, on voit que pour le coup la ligne de moindre réſiſtance ne montoit qu'à 0, 34 du rayon de la ſphere. Dans ce cas, le cône eſt au ſegment comme 1139 à 3861; ainſi le ſegment eſt déja plus que le triple du cône. Il paroît donc que dans un cas pareil, le cône eſt aſſez fort pour réſiſter à la poudre enflammée, juſqu'à ce que la ſphere d'activité ſoit formée.

§. 201.

Cependant, ce que nous venons de rapporter ne fixe pas le point où la diminution

du cône comparé au ſegment, mettra des bornes à la formation d'une ſphere d'activité. Des épreuves devroient l'apprendre, & nous n'en n'avons point de déciſives. Il eſt vrai que M. STRUENSÉE, qui, ſans toucher la Théorie de M. BELIDOR dans ſon Artillerie, la donna enſuite dans la troiſieme partie de ſon *Architecture Militaire*, y dit, §. 258, que parmi les mines qu'on fit jouer à la Fere, il y en avoit une dont le diametre excédoit de ſept fois la ligne de moindre réſiſtance, & qu'il prend cette dimenſion pour terme extrême où une mine feroit poſſible; mais nous n'avons nulle connoiſſance de cette épreuve. Et quoique nous ayons précédemment raſſemblé plus d'expériences de M. BELIDOR que les écrits imprimés n'en contiennent, nous ne la trouvons alléguée nulle part : cependant il n'eſt pas probable que M. BELIDOR, qui ſe propoſoit de montrer par des épreuves combien de fois le diametre de l'entonnoir peut comprendre la ligne de moindre réſiſtance, n'auroit pas ſouvent & préférablement rapporté cette épreuve, d'autant plus que par aucune des épreuves ci-devant marquées, il n'avoit point obtenu d'entonnoir dont le diametre égalât ſeulement ſix fois la ligne de moindre réſiſtance. Mais ſuppoſé la réalité

de cette épreuve; dans ce cas, la ligne de moindre résistance auroit été 0, 274 du rayon, & la raison du cône au segment à peu de chose près, comme 1 à 5.

§. 202.

Cependant, malgré l'incertitude de l'épreuve dont il est question, nous croyons que la ligne de moindre résistance peut aisément se réduire à 0, 3 du rayon de la sphere d'activité. Cela étant, on obtiendroit des entonnoirs où la ligne de moindre résistance seroit au diametre comme 3 à 19, & le cône au segment comme 3 à 12 $\frac{1}{13}$, tellement que le cône auroit environ le quart du segment. Au reste, tout ce qu'on peut conclure de ce qui précede, sans le secours de nouvelles épreuves, est, qu'il semble fort difficile de diminuer le cône au-delà d'un quart du segment, pour qu'il puisse résister à l'effort des poudres jusqu'à leur inflammation totale.

§. 203.

Tant que la question dont il s'agit ne sera pas résolue par des épreuves faites à son sujet, nous admettrons par les raisons alléguées, & d'après quelques épreuves, que moyennant la sphere d'activité produite par

une quantité quelconque de poudre, on ne peut former des entonnoirs que dans les cas où la ligne de moindre résistance n'est pas au-dessus de 0, 8, ni au-dessous de 0, 3 de son rayon. Quant aux cas qui tombent entre ces deux termes, nous allons donner de nouveau la proportion des parties d'une sphere d'activité dont le rayon = 1, ou, ce qui revient au même, nous donnerons la distribution de la charge qu'on suppose = 1 sur lesdites parties de la sphere d'activité, à la différence près, que dans les deux dernieres colonnes, il ne soit pas simplement désigné la proportion du cône au segment; mais en outre, comment la partie de la charge appartenante au secteur de sphere, telle qu'elle est marquée dans la deuxieme colonne, est distribuée entre le cône & le segment, d'après les proportions du §. 187.

K	S	C	A
0, 8	0, 1	0, 072	0, 028
0, 75	0, 125	0, 082	0, 043
0, 7	0, 15	0, 089$_{25}$	0, 060$_{79}$
0, 65	0, 175	0, 093$_{84}$	0, 081$_{16}$
0, 6	0, 2	0, 096	0, 104
0, 55	0, 225	0, 095$_{9}$	0, 129$_{1}$
0, 5	0, 25	0, 093$_{75}$	0, 156$_{25}$
0, 45	0, 257	0, 089$_{72}$	0, 185$_{28}$
0, 4	0, 3	0, 084	0, 216
0, 35	0, 325	0, 076$_{78}$	0, 248$_{22}$
0, 3	0, 350	0, 068$_{25}$	0, 281$_{75}$

§. 204.

Par cette Table, qui préfente le fecteur de fphere S, de même que le cône C & le fegment A qui y font compris, on reconnoît d'abord quelle partie d'une charge quelconque = 1 s'employe fur chacune de ces parties en particulier. Donc fi K défigne la ligne de moindre réfiftance en des centiemes du rayon de la fphere d'activité, la feconde colonne montrera la quantieme partie de la charge qui opere fur le fecteur de la fphere; la troifieme, celle qui eft employée à défunir; & la quatrieme, à enlever l'entonnoir déterminé par une certaine ligne de moindre réfiftance. Les entonnoirs auront par conféquent les diametres fuivants, que nous devons encore ajouter pour rendre la Table complete.

Ligne de moindre réfiftance.	*Diametres des Entonnoirs.*
0, 8	1, 2
0, 75	1, 32 286
0, 7	1, 42 828
0, 65	1, 51 994
0, 6	1, 6
0, 55	1, 67 032
0, 5	1, 73 204
0, 45	1, 78 604
0, 4	1, 83 302
0, 35	1, 87 348
0, 3	1, 90 786

§. 205.

Si M. Belidor avoit porté sa nouvelle Théorie des mines jusqu'au point que nous voilà, il l'auroit trouvée en quelque maniere analogue à celle qu'il avoit précédemment avancée dans son *Cours de Mathématiques.* Il y cherchoit le rapport des deux parties de la charge, employées, l'une à la défunion, & l'autre à l'enlevement de l'entonnoir, & cela seulement pour des entonnoirs rectangulaires, parce que dans ce temps-là il n'en connoissoit pas encore d'autres. En effet, le rapport a lieu selon les principes établis, sinon entre deux parties de la charge entiere, comme fut sa premiere opinion, du moins entre celles qui ensemble appartiennent au même secteur de sphere. Comme le cas d'un entonnoir rectangulaire n'est pas compris dans la Table de §. 203, nous l'examinerons en particulier. On a déja vu par le §. 177, que la ligne de moindre résistance est ici 0,7071 du rayon de la sphere d'activité; donc le secteur de sphere = 0,14645 de toute la sphere d'activité; & en cherchant, par le §. 186, la proportion du cône au segment, on la trouve comme 120709041 à 79290959, ou, en abrégé, comme 121 à 79; ce qui désigne aussi la distri-

bution de la charge, eu égard à une mine qui forme un tel entonnoir.

CHAPITRE V.

Du Jeu d'une Mine, & de la Figure de l'Entonnoir.

§. 206.

IL eſt généralement reconnu que la poudre embraſée ſous terre, perce la ſurface la plus voiſine dans la direction de la ligne de moindre réſiſtance, pourvu que la force des poudres & l'épaiſſeur des terres au-deſſus de la chambre ſe trouvent dans une proportion convenable. Auſſi il reſte peu ou rien à ajouter ſur ce qui regarde le jeu d'une mine, & nous paſſerions ſur ce point, ſi la Théorie que nous venons d'établir ne fourniſſoit pas matiere à quelques réflexions, qui du moins peuvent avoir leur utilité quand il s'agira de faire des épreuves dans la ſuite.

§. 207.

De la maniere que ſe forme une ſphere d'ac-

tivité par les poudres enflammées sous terre, il faut que dès l'instant de l'explosion il parte des rayons dans tous les sens. Donc si en A (Fig. 11) on met le feu à une certaine quantité de poudre, capable de produire une sphere d'activité au rayon AZ = AM, il en sortira, au moment de l'inflammation, des rayons à une force & une vîtesse égales. Ceux qui se meuvent dans la direction de la ligne de moindre résistance AB, gagneront d'abord la ligne horisontale *ab*; mais comme ils ont assez de vîtesse pour parcourir AC, ils commenceront, moyennant ce qui leur reste de force, à parcourir encore BC dans les terres, & de soulever les terres qui se trouvent le long de la ligne de moindre résistance. Immédiatement après, les rayons AD & AN atteindront également le plan horisontal, & mettront l'excédent de leur force qui les rendoit capables de parcourir encore DE & NO dans les terres, à enlever les parties de terre qui se trouvent dans la direction AD & AN. Il arrivera à chaque moment subséquent, que de nouveaux rayons atteindront le plan horisontal en F & P, H & R, K & T, jusqu'à ce que les rayons de la sphere d'activité AM & AZ se soient formés, lesquels fixent les termes M & Z, entre lesquels l'effet de la

mine s'étend à la ſurface. Ces rayons, qui peu-à-peu gagnent la ſurface ſupérieure, commencent ainſi à former, dans des moments conſécutifs, les monticules D *e* N, F *f* P, H *g* R & K *h* T, juſqu'à ce que dans le dernier moment, tout le ſegment de ſphere MCZ ſe ſoit formé, ou que le cône MAZ ſoit chaſſé dehors dans la direction des lignes KL.... BC.... TV; car, comme il a été démontré plus haut, c'eſt du rapport de la ligne AB à la ligne AC que dépend celui des deux cas qui doit arriver.

§. 208.

Les expériences où il ne s'eſt montré qu'une éminence à la ſurface, prouvent, en particulier, que la formation d'un entonnoir de mine ſe fait conformément à ce que nous venons d'établir. M. BELIDOR, en faiſant grand nombre d'épreuves, eut occaſion de faire ces expériences plus d'une fois, & il convient lui-même (*) que non-ſeulement la premiere obſervation lui fit plaiſir, mais qu'elle le confirma de plus dans ſes idées. Nous allons exa-

(*) Dans une Note qui ſe trouve dans les copies de ſa *Théorie des Mines*.

miner ce qu'on en peut conclure d'utile pour la pratique, où il importe beaucoup de prévoir en quelque maniere, tant la figure de l'entonnoir, que la hauteur & l'étendue à laquelle les débris se jettent à la ronde.

§. 209.

Si dans cette Théorie des mines il a été question de l'entonnoir, nous n'avons prétendu entendre jusqu'ici, que le cône MAZ (Fig. 11), qui, conjointement avec le segment MCZ, forme le secteur conique de la sphere d'activité AMCZ, que la ligne de moindre résistance détermine. Cela pouvoit se faire sans erreur, tant qu'il ne s'agissoit que de chercher les différentes proportions qui peuvent avoir lieu entre la ligne de moindre résistance & le diametre de l'entonnoir, selon la situation différente de la sphere d'activité par rapport à l'horison; car en connoissant le rayon de la sphere d'activité AM = AZ, moyennant la charge de poudre, de même que la proportion de AB à AC, on peut fixer la grandeur constante du diametre MZ. Ajoutons que si la figure de l'entonnoir s'écarte de celle d'un cône, cela devra arriver vers son sommet, ou autour de la chambre. Les raisons

suivantes mettront la chose dans tout son jour.

§. 210.

En premier lieu, il est évident que quelque labouré & meurtri que soit l'entonnoir entier M A Z par l'effet de la poudre, les moindres molécules de terre, près de la chambre, seront dissoutes à une certaine distance, par exemple, jusqu'au circuit de la sphere *k n p m i* : les particules plus éloignées, tant celles qui se trouvent dans le cône que celles qui sont dessous & sur les côtés de *m p n*, seront également ébranlées & meurtries, mais beaucoup moins que les précédentes, non-seulement parce que les rayons de l'effort de la poudre se sont déja plus éloignés de leur centre commun, mais principalement parce que les particules dissoutes de la sphere *k n p m i* les compriment avec tant de violence, qu'une plus grande désunion est empêchée. De plus, il ne paroît pas invraisemblable que même une partie des terres dissoutes dans le commencement, s'insinuent dans les pores très-ouverts des terres qui sont à l'entour; & si l'on trouve que le dessous d'un entonnoir, après que la mine a joué, est d'une dureté & fermeté singuliere, on peut plutôt l'attribuer

buer à cette circonſtance, qu'à la chaleur des poudres embraſées. Quant à ces terres diſſoutes autour de la chambre, elles ſont enfin chaſſées dehors comme le reſte des terres de l'entonnoir, par les poudres de la charge qui prennent feu au dernier inſtant, après que la mine s'eſt fait jour par le haut; & c'eſt de cette maniere que ſe produit vers le bas de l'entonnoir une cavité ſphérique, que nous appellerons l'approfondiſſement de l'entonnoir deſſous la chambre, parce qu'en général il ne s'agit que de la profondeur A *p*.

§. 211.

En ſecond lieu, on voit clairement que ſi une partie des terres diſſoutes autour de la chambre, eſt chaſſée dehors par l'ouverture *i k*, cela ne peut ſe faire ſans qu'elles emportent une partie conſidérable des pieces M *i m* & Z *k n*, ſur-tout parce que les rayons qui avoiſinent le plus ceux de la ſphere d'activité AM & AZ, leſquels atteignent les derniers l'horiſon, viennent de meurtrir ces pieces, par la ſéparation du cône AMZ, au-delà de ce qui ſeroit poſſible dans un plus grand éloignement du cône. Mais quelque fondée que paroiſſe la choſe, cela ne ſuffit point pour

réfoudre la queftion, fi les côtés *m* M & *n* Z de l'entonnoir font des lignes droites ou bien des courbes. L'opinion que le dernier cas ait lieu, eft la plus univerfelle, puifqu'elle fe fonde fur le fentiment de M. de Valiere & fur l'autorité de quelques autres; elle eft de plus favorifée par la conjecture fort apparente que les rayons de poudre qui immédiatement tombent deffous *n* Z, dans les terres compactes, fe brifent de côté dans celles du cône AMZ qui fe détachent, & font par conféquent moins fermes. Cependant M. Belidor, qui a fait fes épreuves fur les mines avec autant d'attention que perfonne, eft du fentiment oppofé, & foutient que les côtés de l'entonnoir *n* Z & *m* M, doivent fe tirer comme des tangentes au cercle *i p k* par les points M & Z. Il croit que cela dérive néceffairement de la nature des poudres, dont les rayons agiffent circulairement; & que fi l'on a trouvé aux entonnoirs des côtés courbes par d'autres épreuves, celles apparemment de M. de Valiere, cela doit uniquement s'attribuer à l'hétérogénéïté du terrein. Il infinue d'ailleurs que pour juger de la figure des entonnoirs, il faut feulement compter fur ce qu'on voit, & ce que la raifon dicte, parce qu'en déblayant les terres remuées de l'en-

tonnoir, fur-tout dans un terrein de peu de confiftance, on peut trouver toute figure d'entonnoir que l'on fouhaite : il ajoute que dans les terres vierges, après le déblayement des terres retombées, il a toujours trouvé aux entonnoirs la figure indiquée.

§. 212.

S'il étoit plus effentiel de connoître la vraie figure de l'entonnoir, elle pourroit fe déterminer par de nouvelles épreuves. Pour cet effet, il faudroit prendre les dimenfions de l'entonnoir avant qu'il fût déblayé, moyennant plufieurs coupes paralleles, & mefurer enfuite l'entonnoir vuide, fi le fond étoit affez ferme pour être reconnu avec diftinction (*). Cependant, quoiqu'il refte bien des doutes fur l'affertion de M. BELIDOR, & qu'elle foit à démontrer, comme l'autre qui y eft oppofée, la chofe

(*) On feroit bien de placer le fourneau fous un terrein qui eût affez de pente pour que les terres, après avoir été chaffées hors de l'entonnoir, ne puffent plus y retomber; on pourroit auffi augmenter un peu la charge de poudre: par ce moyen, on obtiendroit un entonnoir parfaitement nettoyé, & l'on pourroit fans peine reconnoître fa figure. *Note du Traducteur.*

n'eſt pas d'une telle importance qu'elle ne puiſſe reſter indécife, du moins juſqu'à ce qu'un jour on en faſſe la découverte. Car ſi généralement un entonnoir a la proportion convenable de la profondeur à la largeur, ce qu'on peut obtenir d'après notre Théorie, ſans connoître ſa figure, il ſuffira pour remplir ſon objet. Lors de l'attaque d'une Place par les mines, il aura aſſez de capacité pour contenir le monde qu'on lui deſtine : & comme il réſulte de la nature de la ſphere d'activité, que le terrein contigu de l'entonnoir ſoit labouré & meurtri, on pourra y faire les retranchements néceſſaires avec la derniere facilité. Voilà cependant le ſeul cas où il pourroit importer de ſavoir la figure de l'entonnoir non-déblayé.

§. 213.

On voit par-là qu'il eſt tout-à-fait indifférent quelle opinion on adopte ſur la figure de l'entonnoir, tant qu'on ſe diſpenſe d'y établir aucune théorie pour la charge des mines. Indépendamment de cela, il eſt apparent, comme nous avons vu, que le cône A M Z eſt toujours ce qu'il y a de plus eſſentiel de l'entonnoir, & que la diſſolution des moindres

particules de terre formera un approfondissement sphérique, tel que *m p n*, dont dépend ensuite la grandeur des pieces *m i* M & *n k* Z; de sorte qu'en connoissant la profondeur dessous la chambre A *p*, on pourra en conclure à la figure de l'entonnoir, & particuliérement au diametre *r s* tiré par le centre du fourneau; n'importe, du reste, que les côtés *m* M & *n* Z soient droits ou non. Si dans les épreuves faites jusqu'ici on avoit donné quelqu'attention à cette circonstance, de même qu'à l'approfondissement dessous la chambre, & au diametre qui passe par le foyer des poudres, cette partie de la théorie des mines feroit aisée à éclaircir.

§. 214.

Bien que la plupart du temps, il soit indifférent, dans la pratique, de savoir au juste la figure de l'entonnoir, il est d'un autre côté presque toujours essentiel de prévoir à quelle hauteur & étendue les débris d'une mine s'élevent & sont jettés à la ronde. Nous verrons ce que fournit à cet égard la théorie sur la formation de l'entonnoir. Il en résulte premiérement par rapport à la hauteur, que dans un même terrein, & à même charge, elle se regle sur la différence du rayon de la

ſphere d'activité à la ligne de moindre réſiſtance, c'eſt-à-dire ſur la hauteur B C du ſegment. Donc, ſi l'on connoît la hauteur de la gerbe des terres, la charge de poudre & la proportion de la ligne de moindre réſiſtance au rayon de la ſphere d'activité, eu égard à une mine qui a joué, on pourra trouver cette hauteur pour toute autre proportion de ces grandeurs. M. Belidor remarque qu'une mine qui avoit 10 pieds de ligne de moindre réſiſtance, chargée à 1200 livres de poudre, forma en jouant une gerbe de terres de 80 pieds de haut. Comme dans ce cas la ligne de moindre réſiſtance eſt 0, 43 du rayon de la ſphere d'activité qu'elle produit dans cette eſpece de terrein, on aura la hauteur de la gerbe de terre dans le cas que la ligne de moindre réſiſtance eſt 0, 6 du rayon, par l'analogie que voici: 5, 7 eſt à 4, comme 80 à 56 pieds, ou la hauteur de la gerbe des terres.

§. 215.

Si la charge de deux mines eſt différente, on a deux cas à conſidérer, parce que la ligne de moindre réſiſtance peut être égale ou non. Dans le premier cas, la hauteur de la

gerbe des terres se regle sur la hauteur du segment. Or comme celle-ci est proportionnelle au rayon, les hauteurs où les débris des deux mines s'éleveront, doivent aussi être comme les rayons de la sphere d'activité. Pour le second cas, où les rayons de la sphere d'activité different aussi-bien que les lignes de moindre résistance, il faut de nécessité qu'il y ait une proportion plus compliquée. Cependant la hauteur de la gerbe des terres deviendra également proportionnelle à la hauteur du segment, si en déterminant la derniere on a seulement égard à la variété susmentionnée. M. Belidor, qui n'a marqué cette hauteur que relativement à deux épreuves, prétend de l'avoir trouvée de 80 pieds pour une mine à 10 pieds de ligne de moindre résistance, & chargée de 1200 livres, & de 150 pieds pour une mine à 12 pieds de ligne de moindre résistance sur 3000 livres de poudre. Le rayon de la sphere d'activité de la premiere mine étoit de 23 pieds, celui de la deuxieme de 35, & les hauteurs des segments sont dans la raison de 13 à 23. Si l'on vouloit supputer la hauteur observée dans la premiere épreuve par la seconde, on la trouveroit par cette proportion, 23 : 13 :: 150 : 84 pieds, avec une erreur dont personne ne sauroit être garant dans

une opération d'altimétrie, pour un cas comme celui-ci; d'ailleurs, il n'eſt pas douteux que dans cette erreur, il entre quelque choſe de la qualité du terrein, qu'on ne pourroit déterminer avec préciſion qu'en faiſant plus d'attention en fait d'épreuves par les mines.

Il paroît cependant, par ce que nous venons de dire, que la hauteur de la gerbe des terres n'eſt pas toujours égale à la ligne de moindre réſiſtance dans le cas où les mines forment des entonnoirs rectangulaires, comme M. DE MEGRIGNI l'a prétendu.

§. 216.

Après la hauteur de la gerbe des terres, nous avons à conſidérer juſqu'à quelle diſtance les débris d'une mine, lors de ſon jeu, ſont jettés à la ronde. Il importeroit beaucoup pour la pratique de pouvoir le déterminer au juſte, pour s'aſſurer que les troupes placées aux environs ne pourroient être incommodées de leurs propres mines; ce qui autrement eſt très-poſſible. De ce qui eſt établi par rapport à la formation d'un entonnoir, il réſulte que les terres qui s'éloignent de la ligne de moindre réſiſtance, en s'approchant des côtés A Z & AM, ſont chaſſées à une hauteur d'autant

moindre, que les forces NO, PQ, TV, qui les enlevent, vont en diminuant, & qu'également les angles ONP, QPT, &c. sous lesquels chaque partie de la masse des terres est jettée, diminuent dans la même proportion. D'ailleurs, on voit clairement la différence des hauteurs dans la gerbe des terres d'une mine qui joue, comme M. Belidor l'a aussi observé, parce qu'elle ressemble en quelque maniere au secteur de sphere MCZ, & l'on peut conclure des cercles concentriques que forment les terres qui retombent, que les angles de l'élévation du jet ont été différents, parce que les lignes de direction qui avoisinent AC & AZ jettent les terres près du bord de l'entonnoir, & que celles qui sont intermédiaires les jettent à proportion plus au loin.

§. 217.

On pourroit ici appliquer la théorie de la balistique; mais comme on a regardé la chose jusques ici de si peu d'importance, qu'on n'en fait mention dans aucune épreuve, on craint que de telles considérations ne soient envisagées comme des minucies: ainsi nous terminerons par les deux réflexions suivantes. En premier lieu, il est évident que les angles d'élévation, sous lesquels les différentes parties

de l'entonnoir se jettent à la ronde, sont compris dans MC, ou la moitié de l'arc du secteur de sphere AMCZ. Donc pour déterminer ces angles d'élévation, on ne pourra faire rien d'autre, que de désigner l'arc CM où ils sont tous compris. Or celui-ci se regle toujours sur la proportion que la ligne de moindre résistance garde par rapport au rayon de la sphere d'activité, & ne sauroit par conséquent être déterminé sans avoir égard à cette proportion. La Table suivante indique la grandeur de l'angle que le rayon prolongé de la sphere d'activité, qui le dernier atteint l'horison, fait avec le plan horisontal, à mesure que la ligne de moindre résistance contient plus ou moins de parties du rayon. Par-là on peut conclure que tous les différents angles possibles dans une telle situation de la sphere d'activité, sont compris entre celui-ci & l'angle droit ou la perpendiculaire AC.

Lignes de moindre résistance.	*Angles.*
0,8	53° 7′
0,7	44° 26′
0,6	36° 53′
0,5	30°
0,4	23° 35′
0,3	12° 28′

§. 218.

Secondement, pour déterminer la grandeur des lignes NO, PQ, TV, &c. on doit faire réflexion que toutes les lignes AE, AG, AI, AL (Fig. 12), sont égales au rayon de la sphere d'activité AC, & que par conséquent on trouvera ses parties DE, FG, HI, KL, qui en sont retranchées par BO, si l'on soustrait les lignes AD, AF, AH, AK du rayon. Or ces lignes à soustraire sont des sécantes du cercle BPQ, qui a pour rayon la ligne de moindre résistance AB; ainsi elles peuvent se déterminer, à l'aide des tables trigonométriques, pour chaque point de l'arc CO. D'ailleurs, on pourroit diviser le diametre de l'entonnoir dans une certaine quantité de parties égales, & calculer chaque ligne AD, AF, &c., par les côtés des triangles rectangles ABD, ABF, &c., & puis les soustraire du rayon de la sphere d'activité. Par exemple, si relativement à la mine, rapportée §. 214, on a AC = 23, AB = 10 pieds, & qu'on prenne BD de 7 pieds, on aura AD $= \sqrt{100 + 49} = 12, 2$ pieds; donc DE = 10,8; mais comme l'effort proportionnel à la ligne BC produisit une élévation de 80 pieds,

la ligne DE, qui, en ſuppoſant BD de 7 pieds, fait un angle de 55° avec l'horiſon, doit produire une élévation de 66 $\frac{6}{13}$ pieds. D'ailleurs, ſi l'on calcule, moyennant la déclination BD, la ligne connue AD, & l'élévation du jet dans la direction DE qu'on vient de trouver; combien le point E décline du point C dans la plus grande élévation du jet, on la trouve ici = 38, 5 pieds, l'angle BAD étant de 35°. Et comme le demi-diametre de l'entonnoir BO fut trouvé = $\frac{45}{2}$ = 22 $\frac{1}{2}$ pieds, on voit que dans le cas même où les terres chaſſées dans la direction DE, retomboient perpendiculairement de leur plus grande élévation, elles ſe repandroient de 16 pieds au-delà du bord de l'entonnoir O.

§. 219.

En finiſſant ce Chapitre, nous ſollicitons ceux d'entre nos Lecteurs qui pourroient avoir occaſion d'aſſiſter à des épreuves, ou à l'uſage qu'on fait des mines, de faire réflexion aux circonſtances mentionnées lors de leur jeu, afin qu'un jour on puiſſe établir quelque choſe d'aſſuré ſur celles qui ne ſont pas indifférentes pour la pratique. Car enfin, ſi nous n'avons pas traité cette matiere au

gré de nos Lecteurs, il faut principalement l'attribuer au défaut de bonnes obfervations, lefquelles dépendent abfolument de la pratique.



SECTION VI.

Application de la Théorie des Mines.

§. 220.

DAns un ſens, il eſt inutile de donner des inſtructions ſur l'uſage de la précédente Théorie des Mines; & dans un autre, c'eſt de la derniere néceſſité. Si l'on fait choix d'une charge quelconque de poudre, on peut par les épreuves de M. Belidor, ou par de nouvelles qu'on fait ſoi-même, calculer le rayon de la ſphere d'activité qu'elle pourra produire. Les circonſtances ſelon leſquelles il faut conſtruire des mines, décideront s'il leur faut un entonnoir étroit & profond, ou plutôt un qui ſoit évaſé & peu profond : ainſi on pourra juger quelle partie du rayon de la ſphere d'activité il faut donner à la ligne de moindre réſiſtance; & il ne s'agit que d'éviter ces ſortes de cas où la formation de l'entonnoir devient impoſſible, quoique la ligne de moindre réſiſtance ne ſoit égale au rayon ni à zéro. Tout cela eſt immédiatement applicable ſans éclairciſſement ultérieur. Mais

dans la construction des mines, au-lieu que la charge de poudre seroit donnée, on la cherche ordinairement; il nous reste donc encore de montrer comment il faut en user dans ce cas. D'ailleurs, les Mineurs praticiens ne sauroient se passer de Tables pour la charge des mines; ainsi il s'agit encore de voir à quel point on peut les satisfaire pour le présent.

§. 221.

Si la charge n'est point donnée, on aura à sa place deux lignes qui déterminent la grandeur de l'entonnoir, savoir la ligne de moindre résistance & le diametre de l'entonnoir, qu'on peut toujours connoître d'avance, par les circonstances qui accompagnent la pratique des mines. Ce sont ces mêmes lignes qui déterminent le rayon de la sphere d'activité, & l'on sent déja comment, à l'aide d'une épreuve dans chaque terrein particulier, on peut calculer la charge pour toute mine dont on a besoin.

§. 222.

Par exemple, soit R le rayon de la sphere d'activité, produite par une charge = P dans un terrein quelconque, & qu'on desire savoir

la charge p, requiſe dans un pareil terrein, pour une mine à conſtruire, dont la ligne de moindre réſiſtance $= k$, & le demi-diametre de l'entonnoir $= r$. Comme le rayon de la ſphere d'activité de la mine à faire eſt $= \sqrt{k^2 + r^2}$ (§. 161), on a, par les raiſons alléguées §. 163, $R^3 : P :: k^2 + r^2 \times \sqrt{k^2 + r^2} : p$, donc la charge deſirée $p = \frac{P}{R^3} \times k^2 + r^2 \times \sqrt{k^2 + r^2}$

§. 223.

Le premier terme $\frac{P}{R^3}$ du ſecond membre de l'équation ſe connoît par des mines d'épreuve, faites dans différentes ſortes de terrein, avec de la poudre dont on fait communément uſage; donc il ne s'agit que de multiplier par ce terme les grandeurs données k & r, combinées de la maniere que la formule le fait voir, pour trouver la charge demandée. En s'y prenant de la ſorte, on a l'avantage que la valeur du troiſieme terme $\sqrt{k^2 + r^2}$, donne à connoître la longueur du rayon de la ſphere d'activité, & qu'en le comparant à k, on peut voir ſi un entonnoir eſt poſſible ou non; ce qu'on ne ſauroit déterminer en faiſant autrement, ſans avoir ſous les yeux la Table du §. 204.

§. 224.

§. 224.

Nous allons faire l'application, en nous ſervant des épreuves indiquées §. 162, que M. BELIDOR fit dans trois terreins différents, comme du reſte chacun pourroit en faire ſoi-même de nouvelles. En conſéquence de ces épreuves, la valeur de $\frac{P}{R^3}$ eſt pour un terrein ſablonneux $\frac{100}{2828}$, pour un terrein médiocre $\frac{170}{2828}$, & pour un terrein fort $\frac{200}{2828}$; donc ſi les grandeurs k & r ſont données pour une mine à conſtruire dans un terrein conforme à quelqu'un des terreins précédents, on pourra trouver par-là, & à l'aide de la formule, la charge qu'on cherche (*). Soit, par exemple,

(*) Comme les terres de même eſpece peuvent varier en poids & en ténacité, mais ſur-tout les terres mêlées, à cauſe de leurs différentes combinaiſons, il ſeroit peut-être impoſſible de reconnoître au juſte les terreins analogues à ceux où M. BELIDOR a fait ſes épreuves : & comme d'ailleurs la poudre, faite dans divers pays, peut encore varier, tant par la qualité & la proportion des matieres qui entrent dans ſa compoſition, que par les ſoins qu'on a mis à ſa fabrication, on ſera toujours réduit, pour aller avec ſûreté, à entreprendre de nouvelles épreuves dans les différents terreins où il s'agit de travailler : mais afin de profiter, autant que cela ſe peut, de ces épreuves, il nous

une mine à conftruire dans des terres fortes dont $k = 10$ pieds, & $r = 18$ pieds, on aura

---

femble néceffaire, en premier lieu, que la poudre dont on veut charger les fourneaux, foit de la qualité requife, fans avoir contracté de l'humidité; car fuppofé qu'elle n'arrête pas entiérement l'inflammation, il reftera toujours des particules de poudre incombuftibles, qui ne feront pas confumées; donc il y aura une moindre quantité de matiere élaftique, un moindre dégré de chaleur, & conféquemment une moindre force expanfive que fi la poudre eût été plus feche. Cependant, puifque les Phyficiens prétendent que l'élafticité des vapeurs aqueufes furpaffe de dix fois celle de l'air, on a lieu de conjecturer qu'il eft un certain dégré d'humidité, converti en vapeurs par l'inflammation, qui peut balancer la diminution de force, par un furcroît d'élafticité, & fingulièrement dans les mines; car il eft d'expérience, par rapport aux armes à feu, que la perte de la force eft d'autant moins fenfible que l'on augmente la charge : ce qui peut provenir de l'intenfité inégale de la flamme; fuppofé qu'un même degré d'humidité nuife moins à un feu violent qu'à celui qui ne l'eft pas. En fecond lieu, nous croyons qu'il eft néceffaire d'employer des coffres qui ne furpaffent point leur jufte dimenfion par rapport à la charge, & d'avoir foin que toute cavité qui pourroit fe former par-deffus le coffre, placé dans la chambre, foit exactement bouchée; car comme la chaleur de la flamme communique à l'air renfermé tel degré de dilatabilité, que celui qui fe trouveroit au-deffus & à l'entour des poudres, fi l'on n'a pas pris fes précautions, pourroit augmenter l'effet de la mine d'épreuve, on manqueroit, dans ce cas, la précifion re-

$k^2 + r^2 = 100 + 324 = 424$ & $\sqrt{k^2 + r^2} = 20,5$; le produit de ces deux termes $= 4492$, multiplié par $\frac{200}{2828} = \frac{50}{707}$, donne environ 318 livres pour la charge desirée. On procede de cette maniere dans tous les autres cas.

§. 225.

Sur ces épreuves de M. BELIDOR, sont fondées les Tables suivantes pour la charge des mines, que nous avons insérées, partie pour montrer comment de telles Tables doivent être dressées, & partie pour s'en servir dans les cas que les terreins où l'on travaille répondent à ceux qui sont décrits §. 106. Tant qu'on supposoit que le diametre de l'entonnoir ne pouvoit être que le double de la ligne de moindre résistance, il suffisoit que, dans les différentes sortes de terreins, on fît des mines d'épreuve à une ligne de moin-

quise dans le calcul des autres mines à faire. En effet, M. LE FEBVRE rapporte qu'ayant également chargé deux fourneaux, dont l'un fut bourré & fermé pour ainsi dire hermétiquement, & dont l'autre forma un espace vuide d'un pied tout autour de la caisse, le dernier fit un effet bien plus grand que le premier. Voilà des remarques qui donnent matiere à des recherches ultérieures pour étendre la Science des Mines. *Note du Traducteur.*

dre résistance prise à volonté, & que par la charge connue, dont on s'étoit servi, on calculât celles qui sont nécessaires pour des mines à d'autres lignes de moindre résistance ; mais les Tables telles que les suivantes devront être plus amples, si l'on veut y porter les cas où la ligne de moindre résistance a une autre proportion au diametre. Car chaque ligne de moindre résistance, d'une grandeur différente, demande une table particuliere, & cette ligne tiendra en ce cas lieu de titre. La premiere colonne désigne les différents diametres des entonnoirs possibles, tel que la figure 10 représente le premier cas où le diametre de l'entonnoir est égal à la ligne de moindre résistance, & où il va en augmentant jusqu'à ce qu'il la surpasse de six fois. Les colonnes suivantes désignent les charges de poudre, requises selon les trois especes de terrein; enfin, la derniere contient le rayon de la sphere d'activité, produite dans chaque cas particulier, afin qu'on puisse d'abord voir combien les fourneaux doivent être distants les uns des autres, pour ne pas jouer à la fois.

§. 226.

Ainsi, pour savoir le nombre des Tables

néceſſaires, il faut fixer le nombre des lignes de moindre réſiſtance qu'on veut prendre. Dans la plupart des Tables, rapportées dans la troiſieme Section, les lignes de moindre réſiſtance vont de 5 pieds juſqu'à 60; dans d'autres, juſqu'à 40, & dans une ſeule, juſqu'à 20 pieds. Si en conſéquence on admet que le plus grand diametre d'entonnoir dont on pourroit avoir beſoin, ſoit de 120 pieds, il ſuffira, pour les nouvelles Tables, que la ligne de moindre réſiſtance ſoit de 20 pieds; car comme il eſt prouvé qu'on peut former un entonnoir dont le diametre ſoit du moins ſix fois plus grand que ſa ligne de moindre réſiſtance, on pourra avec une telle ligne de 20 pieds produire un entonnoir de 20 fois 6, ou de 120 pieds de diametre : au-lieu qu'autrefois, pour avoir un entonnoir rectangulaire de pareille ouverture, il falloit prendre pour ligne de moindre réſiſtance la moitié du diametre = 60 pieds. Et comme d'ailleurs la moindre longueur qu'on puiſſe donner à la ligne de moindre réſiſtance, eſt de 5 pieds, pour qu'il reſte aſſez de terrein deſſus la poudre, ſur-tout ſi cette ligne ſe compte du centre de la chambre, il en réſulte qu'il ſuffit de dreſſer des Tables pour des lignes de moindre réſiſtance depuis 5 pieds juſqu'à 20. De

ces feize Tables nous n'en donnerons que quatre pour les lignes de moindre réfiftance de 5, 10, 15, & 20 pieds, parce que cela fuffit pour fe procurer un affez grand nombre d'entonnoirs.

§. 227.

La Table du §. 204 décide la queftion, combien de diametres différents on peut prendre dans chaque Table en particulier; car on commence par celui dont la ligne de moindre réfiftance eft les deux tiers, en continuant jufqu'à celui qui comprend fix fois la ligne de moindre réfiftance, Si l'épreuve rapportée par M. Struensée étoit vérifiée, on devroit pourfuivre jufqu'à ce que le diametre fût de fept fois plus grand que la ligne de moindre réfiftance, ou même de huit fois, fi l'on vouloit fuivre M. Muller; mais nous doutons qu'on puiffe jamais aller fi loin; c'eft pourquoi nous finiffons par celui qui eft de fix fois plus grand. Il fuffira auffi de faire croître les diametres de 2 pieds en 2 pieds; de forte que les demi-diametres des entonnoirs aillent toujours en augmentant d'un pied.

§. 228.

Le rayon de la fphere d'activité, qui fe

trouve dans la troisieme colonne de chaque Table, a été calculé sur la ligne de moindre résistance & le demi-diametre de l'entonnoir, de maniere qu'on peut sûrement s'attendre que la charge correspondante de poudre, portera son effet par le bas & sur les côtés à une telle distance; car la plupart des épreuves du globe de compression, font voir que l'effort des poudres s'étend même au-delà. En effet, dans l'épreuve de M. Belidor en 1753, le rayon de la sphere d'activité, calculé au moyen de l'entonnoir, se trouvoit de 35 pieds, tandis que l'effet des poudres s'étoit porté à la distance de 40 à 50 pieds sous terre. La Théorie des mines a encore besoin d'une regle pour fixer cet excédent: ce sont les épreuves réitérées qui peuvent en faciliter la découverte.

§. 229.

L'usage même de ces Tables ne souffre aucune difficulté. L'objet qu'on se propose, moyennant l'entonnoir à produire, en déterminera le diametre. La ligne de moindre résistance, qui, dans ce cas, pourroit encore varier, est fixée par les circonstances où l'on se trouve, ou par le niveau de l'eau dans la con-

trée où l'on travaille. Si, pour cette ligne de moindre résistance, on cherche dans la Table le diametre dont on a besoin, on y trouvera la charge de poudre pour chaque terrein, de même que le rayon de la sphere d'activité, & voilà ce qu'il faut pour la construction d'une mine.

§. 230.

Si, dans l'attaque & la défense des Places, on se propose uniquement de détruire les galeries ennemies, il seroit souvent à propos de construire des mines dont l'effet ne se manifeste point à la surface supérieure, & que la sphere d'activité se produise entiérement sous terre. C'est un cas qui, à la vérité, ne trouve point sa place dans les Tables; mais en revanche, il ne s'agit que de connoître le rayon de la sphere d'activité, dont le second Chapitre de la cinquieme Section fournit le moyen. Ainsi, en faisant la ligne de moindre résistance égale ou même supérieure au rayon, on remplira son objet.

§. 231.

Ligne de moindre résistance = 5 pieds.

Diametres des Entonnoirs.	Charge de Poudree. Dans un terrein de peu de consistance.	Dans un terrein médiocre.	Dans un terrein fort.	Rayons de la sphere d'activité.
Pieds.	Livres.	Livres.	Livres.	Pieds.
8	9,3	15,8	18,5	6,4
10	12,5	21,2	25,	7,07
12	16,8	28,6	33,6	7,8
14	22,5	38,2	45,	8,6
16	29,6	50,4	59,2	9,43
18	38,5	65,5	67,	10,3
20	49,4	83,9	98,8	11,18
22	62,3	106,	124,6	12,08
24	77,6	132,	155,2	13,
26	95,5	163,3	191,	13,9
28	116,1	192,9	232,2	14,9
30	139,7	237,5	279,4	15,8

§. 232.

Ligne de moindre résistance = 10 pieds.

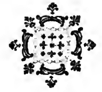
Diametres des Entonnoirs.	Charges de Poudre			Rayons de la sphere d'activité.
	Dans un terrein de peu de consistance.	Dans un terrein médiocre.	Dans un terrein fort.	
Pieds.	Livres.	Livres.	Livres.	Pieds.
16	74	126	148	12,8
18	86	146	172	13,4
20	100	170	200	14,1
22	116	197	232	14,8
24	134	229	269	15,6
26	155	265	312	16,4
28	180	306	360	17,2
30	207	352	414	17,8
32	237	403	474	18,8
34	271	461	542	19,7
36	308	524	617	20,5
38	349	594	699	21,5
40	395	671	790	22,4
42	444	756	889	23,3
44	498	848	975	24,2
46	557	947	1115	25,
48	621	1056	1242	26,
50	690	1200	1380	26,9
52	764	1299	1528	27,9
54	843	1434	1686	28,8
56	929	1543	1858	29,7
58	1020	1735	2040	30,7
60	1117	1900	2234	31,6

§. 233.

§. 235.

Il ne fera pas inutile d'obferver ici en finiffant, que les Tables des précédents paragraphes peuvent fervir, lors même qu'on auroit à conftruire des mines dans un terrein qui ne fauroit fe rapporter à aucun des terreins pour lefquels on les a dreffées. Il n'eft queftion que d'une mine d'épreuve, dont la ligne de moindre réfiftance & le diametre d'entonnoir fe trouvent dans les Tables. La charge dont on a ufé dans l'épreuve, & celle que les Tables dictent pour le même cas, fixeront le rapport par lequel on peut calculer les charges pour tous les autres cas compris dans les Tables, moyennant la charge qu'on y trouve. Par exemple, fi une mine, à 10 pieds de lignes de moindre réfiftance, & chargée à 150 livres de poudre, faifoit un entonnoir à 20 pieds de diametre, on aura le rapport de 100 à 150, puifque ce cas demande 100 livres de poudre dans la premiere forte de terrein; donc fi l'on demande un entonnoir, qui, avec 15 pieds de lignes de moindre réfiftance, aura 50 pieds de diametre, on fait cette proportion : 100 eft à 150 comme 873 livres, ou la charge que les Tables donnent,

à 1309 livres ; ce qui sera la charge requise dans le cas supposé. Il paroît par cette raison, que les Tables que nous venons d'insérer, sont d'une utilité générale.



SECTION VII.

La cause & l'usage des Spheres d'activité imparfaites.

§. 236.

LA configuration de la sphere d'activité, telle que nous l'avons considérée jusqu'ici, est susceptible de varier à plus d'un égard. Par l'idée qu'on s'en forme, il est clair que l'effet de la poudre enflammée doit sa sphéricité à la figure cubique du coffre, & à l'homogénéïté du terrein, & il paroît qu'absolument il doit y avoir de la variation, dès qu'une de ces circonstances vient à varier. La premiere de ces circonstances dépend de celui qui veut construire une mine; & conformément à la coutume, on ne s'écarte point sans sujet de la figure cubique du coffre. La seconde dépend de la qualité naturelle de la surface terrestre; de sorte que dans quelques endroits, on est obligé de s'y assujettir, sans pouvoir établir les fourneaux à son gré.

§. 237.

On ne sauroit disconvenir, que dès qu'on

pourroit déterminer ces variations au juſte, la Théorie des mines ſeroit portée par-là au plus haut période de ſa perfection; mais, d'un autre côté, il eſt manifeſte que c'en eſt juſtement la partie la plus difficile : car ſi précédemment il a fallu laiſſer pluſieurs queſtions indéciſes, faute de bonnes épreuves, peut-être qu'il faudroit s'en prendre ici à l'inſuffiſance de la méthode. Cependant nous verrons ce qui pourroit ſe faire ici, après ce que M. BELIDOR en a avancé, & nous commencerons par nous occuper de la plus importante des circonſtances précédentes, de l'hétérogénéité du terrein.

§. 238.

L'Hiſtoire naturelle du globe terreſtre nous apprend que ſa ſurface conſiſte en pluſieurs couches inégales, qui bien des fois changent tellement, que ſur une profondeur de cent pieds, on peut rencontrer juſqu'à trente couches, dont la matiere differe de beaucoup en fermeté, en cohérence, & en peſanteur ſpécifique. Si l'on n'a point égard à la nature de ces couches de terre, on ſera toujours hors d'état d'atteindre le but qu'on peut ſe propoſer par l'effet d'une mine : auſſi ce n'eſt que

moyennant ces couches différentes, qu'il eſt poſſible de rendre raiſon de quelques phénomenes étrangers & incompatibles avec la théorie qui s'obſerve lors de la conſtruction des mines. En 1721, on fit à la Fere deux fourneaux, fort près l'un de l'autre, & à 20 pieds de ligne de moindre réſiſtance. Le premier, chargé de 900 livres de poudre, après avoir joué, ne fit qu'un monticule de 13 toiſes cubes; on chargea enſuite le ſecond fourneau de 1000 livres, & cette fois on attendit un effet parfait : rien pourtant n'en paroiſſoit à la ſurface ſupérieure. Quelques jours après, le ſol s'affaiſſa à l'endroit du fourneau, en formant un entonnoir de 12 pieds de profondeur, & de 7 à 8 de large. Après des recherches exactes, on trouva que le fluide élaſtique s'étoit échappé dans une couche molle de terres, au-deſſous d'un lit pierreux, y ayant fait entrer les terres diſſoutes autour de la chambre. L'an 1725, on pouſſa deux rameaux en ſortant d'une galerie, afin de placer des chambres à leurs extrêmités : le terrein étoit tel, qu'il ne falloit que 100 livres de poudre pour produire un entonnoir rectangulaire; mais il changea tellement, à la petite diſtance d'un fourneau à l'autre, que le ſecond fourneau, quoiqu'à même ligne

de moindre résistance, fut chargé de 160 livres pour produire un effet semblable au premier. C'est sans doute à la même différence de ténacité & solidité du terrein, qu'il faut attribuer le phénomene singulier d'avoir obtenu un entonnoir cylindrique, & non pas conique, au moyen d'un fourneau qu'on prétendit avoir été surchargé. Car comme il ne s'en est plus montré de la sorte, depuis que l'on construit des mines sur les principes d'une théorie sensée, il y a toute apparence qu'on ne s'est point apperçu de la variété dans la ténacité du terrein, & que, loin d'avoir trop chargé le fourneau, il l'a été trop peu en effet (*).

§. 239.

(*) M. LE BLOND, dans son *Artillerie raisonnée*, dit qu'on a trouvé à Tournay, qu'en augmentant la charge convenable d'une mine, le puits ou le trou étoit un peu plus profond qu'à l'ordinaire : & que dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences, année* 1707, on prétend que l'effort de la poudre étant très-grand par rapport à la résistance du côté foible, la compression devoit s'étendre peu, & que cette partie étoit enlevée avant que celles qui entouroient le fourneau eussent eu le temps de s'ébranler. Mais il fait la remarque judicieuse, que puisque la poudre a le temps d'agir sur le fond du fourneau, de le comprimer ou enfoncer, & que son action se porte circulairement

§. 239.

Quoique les cas ſoient bien rares, où la qualité du terrein cauſe des anomalies ſi marquées dans l'effet des mines, on ne rencontre preſque nullement un terrein ſi homogene, que la figure circulaire de la ſphere d'activité de la poudre ne ſoit du tout point al-

ment de tous côtés, les parties voiſines du fourneau reçoivent, ainſi que le fond, dans le temps de l'inflammation de la poudre, une plus forte impreſſion d'une grande charge que d'une petite; ce qui doit produire alors une plus grande ouverture, & non point un trou ou un puits dont le diametre ne ſoit qu'à peu près égal à celui de la chambre de la mine; & il conclut que ces mines ont été apparemment faites dans des lieux pierreux, où la poudre n'a pu agir avec liberté: & M. BELIDOR dit dans les copies de ſa *Théorie ſur les Mines*, que dans les environs de Tournay, il y a un grand nombre de carrieres, d'où l'on tire cette belle pierre qui s'employe en Flandres, & il croit que dans les endroits où l'on a établi les fourneaux, il y avoit eu autrefois quelque carriere, qui, pour avoir été comblée depuis long-temps, a rendu le terrein ſolide en apparence; & que la poudre ayant trouvé un foible de ce côté-là, a empêché qu'il ne ſe formât une ſphere d'activité comme à l'ordinaire; ou bien que les galeries qui conduiſoient aux fourneaux n'étoient pas bien bourrées, ſur-tout vers le ciel, qui eſt le côté le plus difficile à remplir. *Note du Traducteur.*

térée. Quant aux mines ordinaires, dont le but principal eſt de produire un entonnoir, comme on ne ſe ſoucie guere que de la moitié ſupérieure de la ſphere d'activité, il eſt rare que ces différences ſe remarquent, ſurtout lorſque la ligne de moindre réſiſtance ne va pas au-delà de 10 pieds; mais dès qu'on veut faire ſervir l'hémiſphere inférieur à enfoncer les galeries ennemies, ou qu'on a des mines bien profondes à conſtruire, il faudra déja avoir plus d'égard à la nature du terrein, puiſqu'il eſt prouvé que les couches de terre deviennent plus denſes à meſure qu'elles ſe trouvent à une plus grande profondeur, quelque peu que nous ſachions d'ailleurs de leur nature eſſentielle en général.

§. 240.

Pour ſe former une idée de la maniere dont la figure de la ſphere d'activité peut s'altérer par des couches différentes de terres, ſuppoſons que la ténacité ne change point par ſauts, mais que, dans des couches minces & ſucceſſives, elle augmente ou diminue réguliérement, comme les termes d'une progreſſion arithmétique. Les termes de cette progreſſion pouvant toujours s'exprimer par les

éléments d'un triangle iſoſcele, ou trapeze régulier, on pourra repréſenter la ténacité des terres dans le profil qui traverſe perpendiculairement le fourneau, par le triangle CDE, (Fig. 13) ſi elle croît depuis la ſurface AB, où elle eſt tout-à-fait inſenſible; ou par le trapeze MNOP, (Fig. 14) ſi à la ſurface elle eſt égale à MN, & qu'elle accroiſſe réguliérement: ou bien, on pourra ſe la repréſenter par le trapeze AIKB, (Fig. 15) ſi à l'horiſon DE elle eſt = AB, & qu'enſuite elle aille réguliérement en diminuant.

§. 241.

Fig. 13. Le triangle CGH étant donné, ſi une certaine quantité de poudre, qui s'enflamme en F, produit dans les couches au-deſſus de la poudre, le rayon de la ſphere d'activité FC, il eſt manifeſte que les rayons ſuivants FY, FZ, FG, &c. décroîtront toujours peu-à-peu, & que le rayon FI, oppoſé au rayon FC, ſera moindre que tous les autres. Ainſi le profil de la ſphere d'activité, qui fait un cercle pour le terrein homogene, eſt ici borné par la courbe CYZGI, qu'on détermine, moyennant le triangle CGH, de la maniere ſuivante.

1°. Pour trouver FI, il faut obſerver que, ſi le rayon FI eſt produit par une force

de poudre égale à celle qui a produit le rayon F C, cela fuppofe que les deux plans C G H, & G H D E, qui expriment la ténacité du terrein, font égaux. Il ne s'agit donc que d'ajouter au triangle C G H, le trapeze G H D E, qui foit de même grandeur; & ce problême fe réfoud, environ de la même maniere, comme fi l'on devoit partager le triangle C D E en deux par une ligne G H, parallele à la bafe D E. Si donc on ajoute au triangle donné C G H, le trapeze G D E H de la même grandeur, il fe formera le triangle C D E, qui fera au triangle C G H, dans la raifon de 2 à 1, & à caufe des triangles femblables, comme a $\overline{CF}^2$ à $\overline{CF}^2$. Ainfi $\overline{CI}^2 = 2\,\overline{CF}^2$, ou C F : C I :: C I : 2 C F, & l'on aura C I par la conftruction fuivante, Fig. 16. Que l'on faffe C K = F L = C F, & que du milieu de K L on décrive le demi-cercle K M L; qu'on éleve en C la perpendiculaire C M, & qu'on la tranfporte fur la ligne C L, de C en I : alors on aura trouvé la hauteur F I du trapeze, parce que $\overline{CM}^2 = \overline{CI}^2 = CK \times CL = 2\,\overline{CF}^2$.

2°. Quand, de cette maniere, FI a été déterminé par CF, (Fig. 13.) il faut seulement, pour décrire la courbe CYGI, que la ligne FC se meuve d'un mouvement uniforme, par le demi-cercle qu'on peut décrire par F sur CI, dans le même temps que le point extrême de la ligne CF parcourt de C vers F la différence de la ligne CF à la ligne FI. Ainsi en divisant le demi-cercle dans un nombre quelconque de parties égales, par exemple en 12, & FC — FI dans un pareil nombre, la ligne CF, après avoir parcouru un douzieme de la demi-circonférence, sera raccourcie d'un douzieme; & après avoir parcouru deux douziemes, elle sera diminuée de $\frac{2}{12}$, & ainsi de suite: de sorte qu'on peut déterminer autant de points de la courbe qu'il en faut pour la décrire.

§. 242.

Fig. 14. Si la ténacité du terrein, depuis la surface supérieure jusqu'à la chambre des poudres S, s'exprime par le trapeze MQRN, & qu'elle continue sur le même pied d'aller en croissant, on pourra déterminer la figure de la sphere informe d'activité, d'une maniere

semblable à la précédente. La courbe TQV, qui termine le profil, se décrit comme en Fig. 13, moyennant les lignes ST & SV, après avoir trouvé la ligne SV par la construction suivante (Fig. 17). On prolonge les côtés AC & BD, du trapeze donné ACDB, indéfiniment en-bas, & d'autant en-haut que le triangle ABG se forme, & l'on tire la perpendiculaire GH, qui se prolonge indéfiniment en-bas. En G on éleve, sur la ligne GH, la perpendiculaire GM = GI, on tire MI, & l'on aura $\overline{MI}^2 = 2\ \overline{GI}^2$. En transportant MI, de L en K, après avoir fait GL = GH, on aura le point cherché K, par où l'on tire EF parallele à CD. Car comme on a $\overline{MI}^2 = \overline{LK}^2 = 2\ \overline{GI}^2 = \overline{GH}^2 + \overline{GK}^2$, il s'ensuit que $\overline{GI}^2$ est moyenne proportionnelle arithmétique entre $\overline{GH}^2$ & $\overline{GK}^2$; c'est-à-dire, que les triangles ABG, GCD & GEF sont équidifférents, & ainsi ABDC = CDFE, ce qu'il falloit pour déterminer la ligne IK.

§. 243.

Fig. 15. Si la cohésion des terres suivoit une progression décroissante depuis la surface supérieure, comme il est représenté par AGBH, il

faudroit chercher FL, par le moyen de FC, de la même maniere qu'on a cherché (Fig. 14) SV par TS. La conftruction fe fait, en fuivant la maniere inverfe du cas précédent. Après avoir achevé le triangle EGF, moyennant le trapeze donné CDFE, Fig. 18, & après avoir fait GM = GI, & avoir tiré IM, on coupe la ligne GM, en portant la longueur de IM du point K en L. On fait GH = GL; ce qui détermine le point H, pour tirer la ligne AB, en déterminant également la ligne IH. On décrit la courbe Fig. 15, qui, par la circonvolution autour de fon axe, engendre la fphere informe d'activité, comme il s'eft fait dans les deux cas précédents, hormis que le rayon FC, au-lieu de diminuer, dans le temps que par fon mouvement il fe tranfporte dans la direction FL, accroît uniformément; de forte qu'après avoir tourné par la demi-circonférence, il eft devenu égal à FL.

§. 244.

La maniere précédente de fe figurer les irrégularités principales, & en quelque forte régulieres, de la fphere d'activité dans des terreins hétérogenes, qui, à quelques chan-

gements près, eſt empruntée de M. BELIDOR, (*) n'eſt pas, il eſt vrai, directement applicable, parce que la meſure de la ténacité dans les différentes couches de terre, qui devroit être fixée, nous manque encore. Cependant elle peut toujours ſervir à juger de la maniere dont la ſphere d'activité pourroit être altérée. On voit que dans les cas ſuppoſés, au-lieu d'une ſphere, il ſe forme un ſolide produit par la révolution d'une demi-ſpirale ſur ſon axe, & l'on ſera en état de porter ſon jugement, par rapport à ſa figure, dans quelques cas plus compliqués, comme quand la ténacité va en augmentant depuis la ſurface juſqu'à une profondeur quelconque, & qu'enſuite elle décroît, ou bien quand le contraire aura lieu.

§. 245.

Si, à la conſtruction des mines, la chambre des poudres ſe trouve placée ſur une couche dure ou pierreuſe, c'eſt quelquefois très-avantageux. Car comme cette qualité du terrein empêche la poudre de former la partie inférieure de la ſphere d'activité, & qu'une

(*) Voyez les copies de ſa *Nouvelle Théorie* ſur la Science des Mines, Art. 25-28.

couche affez dure fera réfléchir l'action de la poudre vers l'hémifphere fupérieur, le volume s'en étendra prefqu'au double de ce qu'il auroit été fans cette circonftance. Ainfi fuppofé qu'ayant à conftruire une mine fur 15 pieds de ligne de moindre réfiftance, on rencontrât une pareille couche de pierre, à la profondeur de 10 pieds, il faudroit, au-lieu d'aller plus avant, établir le fourneau deffus la couche; & l'on peut s'attendre, fi l'hémifphere inferieur n'eft point deftiné à crever des galeries ennemies, que dans le cas fuppofé on obtiendra, moyennant une quantité peu confidérable de poudre, un entonnoir évafé, qu'à peine on pourroit fe procurer en prodiguant beaucoup de poudre, fi la chambre étoit placée différemment.

§. 246.

Il s'enfuit également, que dans tous les cas où les mines n'ont à opérer que vers la furface fupérieure, il eft fort avantageux de garnir le fond de la chambre de gros madriers, ou de pierres, fur-tout fi elle eft fort fpacieufe, afin d'augmenter l'effet vers le haut. On rempliroit le même objet, fi, au-lieu de coffres ordinaires, on employoit, pour ce genre de mines, les pétards, moyennant

lefquels on enfonce communément les portes des Places ennemies. En les pofant fur une bafe affez ferme, ils donneroient la direction convenable pour l'effort des poudres, & l'on feroit ainfi une épargne confidérable par rapport à la charge des mines. Comme la conftruction du coffre, & l'étançonnement des chambres, coûtent beaucoup, & demandent bien du temps, il y a de quoi s'étonner qu'on ne fe foit jamais avifé de cet expédient, qui en particulier auroit fon utilité, eu égard aux contre-mines. Cette pratique pouvoit paroître employée mal-à-propos, dans le temps que l'on croyoit pouvoir varier la direction de la mine, lorfqu'elle joue, felon qu'on faifoit pencher le fond de la chambre de côté ou d'autre, & qu'on en attendoit un fervice prefque pareil à celui que la volée d'un mortier prête à la bombe; mais dès qu'on fait réflexion que la majeure partie de la poudre fe perd au dehors de l'entonnoir, on ne pourra que juger favorablement de cette pratique, fi l'on n'eft pas prévenu en faveur de la routine ou de l'ancien ufage.

§. 247.

En effet, on reconnoît fuffifamment que ce n'eft pas ici le feul cas où l'on fuit aveuglé-

ment la coutume, même ſi de bonnes raiſons plaident pour en uſer autrement : voilà auſſi l'unique cauſe de l'uſage qu'on fait des coffres cubiques ; car comme en changeant la figure du coffre, on peut varier la figure de la ſphere d'activité (§. 235), nous ſommes à même de nous prévaloir de ce moyen avec fruit. On ne diſconvient pas que les coffres ſphériques & polyedres ne ſoient difficiles à mettre en exécution, & que les coffres cubiques l'emportent ſur tous les autres, en ce qu'ils raſſemblent la poudre autant qn'il eſt poſſible, & qu'ils forment une ſphere d'activité ſenſiblement parfaite, comme nous l'avons précédemment ſuppoſé ; mais il peut ſouvent arriver que cette figure de la ſphere d'activité, n'entre qu'imparfaitement dans les vues qu'on a, & que les coffres qui ont la figure d'un priſme, d'une pyramide, ou d'un parallélepipede, doivent naturellement produire une autre façon de ſphere d'activité, qui pourroit avoir lieu dans la pratique, & être utilement employée. Voilà pourquoi nous allons voir lequel d'entre ces différents coffres eſt le plus recommandable.

§. 248.

M. BELIDOR ſe déclare en particulier pour

les coffres plats d'une base quarrée ; le fait suivant lui en fournissoit l'occasion. On sait que la *Nouvelle Théorie* de M. Belidor s'est répandue l'an 1729, par des copies, dans les écoles d'Artillerie de la France, & il est vraisemblable que les mines dix, onze & douze, (§. 106) furent construites, afin de mettre cette théorie à l'épreuve. Il y a de l'apparence que M. Belidor avoit prédit le diametre des entonnoirs, afin de faire sauter aux yeux la preuve de sa théorie, pour ceux qui ne voudroient pas se rendre à des raisons. Quoique ces prédictions ne purent s'accomplir selon toute la rigueur, on applaudit à leur réussite, & ce ne fut que la douzieme mine qui occasionna des contestations. Elle joua justement dans l'absence de M. Belidor. Il lui avoit assigné d'avance un diametre de 46 pieds 10 pouces ; & d'entre ceux qui le mesuroient, les uns le trouvoient de 42, les autres de 43 pieds. Cette différence fut trouvée trop grande, & l'on jugea la théorie fautive. M. Belidor de retour, en remesurant le diametre, le trouva effectivement de 45 pieds 4 pouces, à quoi s'accorda assez le mesurage du Chevalier d'Abouville ; mais on prétendit qu'une forte pluie avoit élargi l'entonnoir ; de sorte qu'il fallut

alléguer d'autres raifons pour calmer fes adverfaires.

§. 249.

Comme cette mine, à la charge de 1000 livres de poudre, fut conftruite dans un terrein de confiftance médiocre, le calcul en étoit fait fur la feconde expérience fondamentale, qui indique que 170 livres de poudre font un entonnoir de 20 pieds de diametre, fur une ligne de moindre réfiftance de 10 pieds. Dans les deux cas, il y avoit même ligne de moindre réfiftance; mais fi, comme à l'ordinaire, on la compte depuis le centre des poudres, il fallut de néceffité que les deux mines à 170 & à 1000 livres de charge, euffent une épaiffeur inégale des terres par-deffus la chambre. Le côté du coffre cubique de 170 livres, étoit de 16 pouces 7 lignes; donc l'épaiffeur des terres, de 9 pieds 3 pouces 8 $\frac{1}{2}$ lignes: le côté du coffres cubique de 1000 livres étoit de 30 pouces, donc l'épaiffeur des terres n'étoit ici que de 8 pieds 9 pouces; & cette épaiffeur diminue encore, fi l'on réfléchit qu'il falloit couper un affez grand efpace dans les terres au-deffus du coffre, afin de pouvoir remplir ce grand coffre qu'on ne put faire entrer que vuide. Or comme c'eft par l'épaif-

feur des terres au-deffus de la chambre, que doit fe faire la réfiftance à l'effort de la poudre, jufqu'à l'inftant que la fphere d'activité fe foit formée, il s'enfuit que les fpheres d'activité de différentes charges ne fauroient être femblables, conformément à la fuppofition, & que la conclufion d'une petite mine d'épreuve à une grande, n'eft point parfaitement jufte.

§. 250.

C'eft avec raifon que M. Belidor en déduit la regle, que, pour faire la conclufion au jufte, il faut toujours compter la ligne de moindre réfiftance, du deffus de la chambre, & non pas du centre; mais de peur qu'on ne puiffe regarder l'établiffement entier du coffre deffous la ligne de moindre réfiftance, comme une invention forgée en faveur de fa théorie, il n'en demeure pas-là, mais il propofe de conferver le côté du coffre employé à la mine d'épreuve, pour toutes les mines à faire, & de donner aux coffres une bafe quarrée, plus ou moins grande, felon que leur charge le demande. Ainfi, comme dans les trois expériences fondamentales, faites fur 100, 170 & 200 livres de poudre, les côtés des coffres étoient de 14 pouces, de 16 pou-

ces 7 lignes, & de 17 pouces 6 lignes, ces dimenſions feroient les hauteurs invariables des coffres à faire, & l'on ſupputeroit les baſes, ſur ce que 100 livres de poudre ont pour baſe un quarré de 196 pouces, que 170 livres ont pour baſe 274, & 200 livres 299 pouces quarrés.

§. 251.

Il eſt manifeſte que M. BELIDOR donne ici dans l'erreur. Nous ne nous attacherons pas à lui oppoſer que, dans les mines à forte charge, le coffre deviendroit ſi vaſte, qu'à peine on pourroit conſtruire une chambre à proportion, par exemple, que la dixieme mine de 3600 livres (§. 106) auroit un coffre de 16 pouces 7 lignes de haut, & que ſa largeur feroit de 6 pieds 4 pouces en quarré : il y a plus, en partant de cette regle, on n'obtiendroit la plupart du temps aucun entonnoir. Car en ſe figurant un coffre plat, comme compoſé de pluſieurs coffres cubes, placés l'un à côté de l'autre, il ſera évident que le rayon de la ſphere d'activité qui ſe forme ſur les deux ſurfaces quarrées, ne ſauroit jamais ſurpaſſer celui de la mine d'épreuve qui étoit = 14, 14 pieds. Et comme la ligne de moindre réſiſtance ne ſauroit être

tout au plus, que les $\frac{8}{10}$ du rayon de la ſphere d'activité, il en réſulte que, voulant garder la hauteur du coffre qui a ſervi pour l'épreuve, on n'oſera s'écarter beaucoup de la ligne de moindre réſiſtance de la mine d'épreuve, & l'on ne pourra ſuivre l'avis de M. Belidor que ſous cette reſtriction.

§. 252.

En ſuppoſant que telle ait été auſſi la penſée de M. Belidor, ou qu'il ſe ſoit abuſé, faute d'avoir réfléchi comment les rayons d'un pareil coffre plat doivent tomber, la recommandation de cette eſpece de coffre ne laiſſe point de mériter attention, puiſqu'elle offre des vues pour étendre conſidérablement l'Art du Mineur (*). De tant d'épreuves

(*) Les Aſſiégés ſont dans le cas de ſe ſervir des coffres plats, puiſqu'en les employant, le terrein ne ſera meurtri qu'à peu de profondeur, & les terres retomberont preſque toutes dans l'entonnoir; de ſorte que l'ennemi n'aura pas la faciliré de s'y loger ſur le champ : au-lieu qu'en voulant obtenir, par le moyen des coffres cubiques, des entonnoirs à même diametre, comme par les coffres plats, il faudroit augmenter la charge, & mettre le fourneau à plus de profondeur; ce qui fourniroit à l'ennemi

preuves faites à la Fere, on n'en trouve aucune destinée à éclaircir cet objet; apparemment que M. BELIDOR quitta trop tôt cet endroit, pour faire naître l'occasion de ce genre d'épreuves. Cependant, dans les épreuves particulieres qu'il fit à Lié, campagne peu distante de la Fere, il ne perdit point de vue cette circonstance; mais ce que nous en avons par écrit, est un détail imparfait, que voici (*). Dans une terre douce & homogene, il construisit quatre fourneaux, chargés chacun de 30 livres de poudre, ayant l'un & l'autre 6 pieds de ligne de moindre résistance exprimée par les terres vierges. La premiere mine, avec un coffre cubique, fit un entonnoir de 13 pieds 4 pouces de diametre; la seconde, ayant un coffre plat, pro-

l'ennemi un entonnoir plus nettoyé & un logement plus profond : ou bien, si l'on vouloit placer le fourneau à même profondeur, que dans le cas d'un coffre plat, il faudroit le surcharger; mais alors les terres s'ébranleront fort à l'entour, & à une grande profondeur; ce qui souvent peut tirer à conséquence, outre que l'ennemi trouvera un entonnoir tout nettoyé, pour s'y retrancher d'abord. *Note du Traducteur.*

(*) Note sur l'Article XXI d'une copie de la *Théorie des Mines.*

duisit un entonnoir de 15 pieds 9 pouces de diametre; la troisieme & la quatrieme, dont les coffres avoient la figure d'une pyramide quadrilatere tronquée, dont le plus petit quarré servoit de base, firent des entonnoirs dont le diametre n'excédoit que de 2 pouces celui de la deuxieme mine. Comme les dimensions de ces coffres ne sont point marquées, on ne peut tirer des justes conséquences de ces épreuves, & il faut s'en tenir à ce que M. BELIDOR en déduit, savoir, que les coffres plats sont les plus propres à produire de vastes entonnoirs, parce que la pyramide tronquée n'en forme point de bien plus grand.

§. 253.

Quelque fondée que soit cette induction, elle ne l'est qu'en partie, parce que la question est de savoir, si, par une mine à construire, il faut effectivement former un entonnoir évasé; car outre cette vue, la seule principale, lorsqu'il s'agit de logements spatieux, on peut en avoir d'autres, & alors il pourra arriver que les coffres plats, dans le sens que M. BELIDOR les prend, ne soient pas convenables. Si, à l'attaque d'une Place, on a dessein de diriger une mine contre le

terrein que l'ennemi occupe, afin de l'ébranler avec force, ou afin d'écrafer les galeries ennemies qui s'y trouvent : fi l'on veut faire fauter une levée de terres, ou fi, par l'ébranlement des terres vierges, on veut fe mettre à couvert du danger, que l'effet des mines de l'ennemi accompagne, il faudra, felon les occurrences, s'écarter de la figure cubique du coffre, fans pouvoir en venir à bout par le coffre plat d'une bafe quarrée. Des coffres prifmatiques, couchés, ou bien pofés verticalement, & des coffres plats, qui ont pour bafe un quarré-long, de même que d'autres changements, rendront ici de bons fervices, pour peu qu'on réfléchiffe fur la maniere dont la poudre, enfermée dans de tels coffres, devra opérer dans la terre, relativement au deffein qu'on fe propofe.

§. 254.

Quant à la figure que, par ce moyen, la fphere d'activité devra prendre, il eft évident qu'elle ne fauroit être circulaire, &, qu'à mefure qu'on s'écarte de la figure cubique du coffre, elle s'écartera de la fphéricité. Sa figure approchera le plus fouvent de celle d'un ellipfoïde; du moins, en l'envifageant

sous ce point de vue, on pourra la déterminer assez juste pour la pratique. Le coffre plat, d'une base quarrée, formera un sphéroïde applati, dont les coupes verticales sont des ellipses, & les coupes horisontales, des cercles. Le coffre prismatique couché formera un ellipsoïde allongé, dont les coupes verticales sont des ellipses, si elles sont paralleles à l'axe, & des cercles, si elles y sont perpendiculaires, & dont toutes les coupes horisontales sont encore des ellipses. Dans ces cas, comme dans ceux qui leur ressemblent, il s'agit de déterminer l'axe de la plus grande ellipse, dans chaque espece différente de coupes, afin de pouvoir porter un jugement sur la grandeur des entonnoirs, produits par ce genre de spheres d'activité.

§. 255.

Si l'on n'est pas tombé dans l'abus indiqué §. 250, d'avoir donné trop peu de hauteur au coffre plat, & qu'il soit placé assez profondément pour produire un effet par-tout combiné, on pourra s'attendre que les rayons d'une pareille sphere d'activité, qui se formeront sur un côté quelconque du coffre, seront de la même grandeur qu'un coffre cubique, de même racine, les auroit formés. Car

quoiqu'on prenne ici les côtés du coffre, au-lieu de la poudre qui y eſt compriſe, on ne donnera point dans l'erreur, pourvu qu'on ſoit en garde contre l'abus ſuſmentionné.

§. 256.

Suppoſé que, ſuivant l'avis de M. BELIDOR (§. 249), on ſe ſoit ſervi d'un coffre plat pour la mine rapportée ci-devant (§. 247), il auroit eu 16 pouces 7 lignes de haut, & ſa baſe environ 40 pouces de racine. Mais un coffre cubique, dont le côté *ab* (Fig. 19) eſt de 16 pouces 7 lignes, produit un rayon de la ſphere d'activité de 14, 14 pieds; & celui qui a ſes côtés de 40 pouces, produit un tel rayon d'environ 34 pieds. On a donc les deux axes de l'ellipſe, qui ſe coupent perpendiculairement au foyer des poudres, ſavoir le grand CD = 68, & le petit BE = 28,28 pieds. Ceci connu, on trouve le demi-diametre de l'entonnoir *d*, pour chaque ligne de moindre réſiſtance *k*, qui n'excede point la moitié du petit axe, moyennant la formule que voici: $d = a\sqrt{\frac{1}{4} - \frac{k^2}{b^2}}$ (*)

(*) Equation de l'ellipſe, en prenant les abſciſſes ſur le petit axe, & en commençant du centre. KASTNERS; *Anal. endlich grössen.* §. 371.

dont a signifie le grand axe, & c le petit. Si donc, en faisant usage d'un pareil coffre, on gardoit la ligne de moindre résistance AF = 10 pieds, comme celle du coffre cubique, on auroit FH $= 68 \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{100}{799,8}} = \frac{68}{2,82} =$ 24, 12 pieds, & l'ouverture de l'entonnoir seroit un cercle décrit par ce rayon. Si au contraire on avoit pris AF = 8 pieds, on trouveroit FH = 27 pieds, & GH auroit été = 54 pieds. M. BELIDOR dit, à cette occasion, que dans le premier cas, où AF est de 10 pieds, il se seroit formé, moyennant cette charge & cette façon de coffre, un entonnoir, dont l'ouverture auroit été à celle d'un entonnoir rectangulaire, dans la raison de 2193 à 400; mais il ne donne pas les principes sur lesquels se fonde cette proportion: selon notre calcul, elle seroit comme 2327 à 400, ou environ comme 6 à 1; ce qui est la même réduction que M. BELIDOR fait de sa proportion, mais qui se rapporte mieux à celle que nous venons de trouver.

§. 257.

Si, en faisant une mine dans un terrein de peu de consistance, on aime à pratiquer un

coffre prifmatique couché, qui, fur une hauteur & largeur de 14 pouces, auroit, par exemple, $3\frac{1}{2}$ pieds de long, on obtiendra un entonnoir oblong, dont la plus grande largeur de l'ouverture fera de 20 pieds, fi la ligne de moindre réfiftance eft de 10 pieds. Pour en apprendre également la plus grande longueur, il faut préalablement chercher les deux axes de la coupe elliptique, qui paffe par l'axe du coffre, dont $a = 85$ pieds & $c = 28$, 28 pieds; & enfuite, en mettant $= k$ 10, on cherche, moyennant la formule précédente, l'ordonnée FH; & en prenant le double, on aura le diamètre de l'entonnoir fur fa longueur = 60 pieds. Il s'enfuit que, par une charge de 350 livres de poudre, on peut obtenir un entonnoir d'ouverture elliptique (Fig. 20) dont le grand axe AB = 60 pieds, & le petit CD = 20 pieds, & l'on peut, par leur moyen, décrire fon contour, comme la figure le repréfente.

§. 258.

Si le coffre avoit été pofé verticalement, la fphere d'activité fe feroit étendue à 40 pieds, fous la furface de la terre; ce qui affurément eft au-delà de ce qu'il femble qu'on puiffe at-

tendre d'une ſi petite quantité de poudre. Par cela même, & par ce qu'en général nous avons dit de la figure différente des coffres, on voit que par cet endroit on peut encore beaucoup contribuer à perfectionner la Théorie des mines; & il dépendra de ceux qui ſont à portée de faire les épreuves néceſſaires à cet effet, d'employer ces moyens ou non. Une nouvelle obſervation à faire, ſeroit de voir ſi l'hémiſphere inférieur ne pourroit pas être agrandi, par le moyen des coffres plus larges en-bas que vers le ſommet.

§. 259.

Pour former des entonnoirs oblongs, on s'eſt ſervi juſques ici de deux fourneaux, qu'on fit jouer à la fois; au-lieu de produire cet effet, moyennant un coffre de différente conſtruction, en ſe ſervant d'un ſeul fourneau. Quelque intéreſſant que ſoit l'objet à remplir dans de certaines occaſions, il ne paroît pas qu'aucun Auteur, ſur la Science des mines, ait donné des regles pour fixer la diſtance des deux fourneaux, afin de former des entonnoirs parfaitement réunis : & parmi les épreuves qu'on connoît, il n'en eſt que peu de nature à réſoudre la queſtion. M. Me-

GRIGNI fit conſtruire, à Tournay, deux fourneaux diſtants l'un de l'autre ſur la longueur de la ligne de moindre réſiſtance, il les chargea chacun des deux tiers de leur charge ordinaire, & les fit jouer à la fois; mais ce fut ſans obtenir preſque aucun entonnoir. Une autre fois il fit jouer quatre mines, convenablement chargées & éloignées à la même diſtance l'une de l'autre; mais alors il ſe forma un entonnoir commun, ſans qu'on pût s'appercevoir d'aucune ſéparation dans le fond. M. BELIDOR fait mention (*) de deux fourneaux qui ont ſervi dans les travaux du ſiege, devant le polygone de la Fere en 1724, éloignés de 28 à 30 pieds l'une de l'autre, ayant une ligne de moindre réſiſtance de 22 à 23 pieds, & étant un peu ſurchargés; ces mines, en jouant à la fois, firent un tel entonnoir commun, qu'il étoit impoſſible de s'appercevoir qu'on ſe fût ſervi de deux fourneaux pour le produire. Lorſqu'en 1739 on réitéra cette épreuve, par ordre du Roi, dans le deſſein de jetter le canon des batteries en brêche juſques dans la Place, on ſe ſervit encore de deux fourneaux, jouants à la fois, dont

(*) Art. VIII des copies de la *Nouvelle Théorie de la Science des Mines.*

nous tenons le détail ſuivant. La charge de chaque fourneau étoit de 600 livres de poudre, la ligne de moindre réſiſtance de 10 pieds, & la diſtance horiſontale d'un fourneau à l'autre de 15 à 16 pieds (*). Les mines jouées, on trouva un ſeul entonnoir elliptique, & bien nettoyé, qui, ſur la profondeur de 15 à 16 pieds, avoit 45 pieds de long, & 27 de large.

§. 260.

Il eſt cependant à obſerver, qu'en voulant examiner la nature de l'entonnoir que produiront deux fourneaux jouants à la fois, il ne faut pas prendre la meſure de leur diſtance ſur la ligne de moindre réſiſtance, mais ſur le rayon même de la ſphere d'activité; & alors il eſt évident que dans chaque cas, il ne s'agit que de déterminer la ligne KL, Fig. 22, ou la partie qu'un rayon retranche de l'autre. Car dès que les fourneaux M & N ſe joignent, & que leur éloignement eſt $= o$, ce n'eſt plus qu'une ſeule mine, & toute recherche ceſſe; mais ſi leur diſtance eſt égale aux deux rayons de la ſphere d'activité priſes enſemble, les fourneaux joueront comme

(*) Cette dimenſion eſt tirée du *Diſcours ſur le nouveau projet des Mines*; mais dans les *Œuvres diverſes de M. Belidor*, on trouve 18 pieds.

deux mines séparées, & ne sauroient produire d'entonnoir commun. Dans tous les cas compris entre ces deux extrêmités, les rayons de la sphere d'activité tombent en partie les uns dans les autres; la figure de l'entonnoir dépend toujours de la grandeur de cette partie, & c'est ce qui doit en déterminer la nature.

§. 261.

De plusieurs cas possibles, celui du milieu est lorsque la distance des deux fourneaux à même charge, est égale au rayon de leurs spheres d'activité. Il semble alors que les spheres d'activité sont assez voisines les unes des autres, pour emporter le dos des terres qui est représenté en profil (Fig. 21) par le triangle ABG; car c'est justement ce qu'il faut pour obtenir un seul entonnoir. Cependant cette question, de même que les deux qui en dérivent, savoir, si, sans nuire à cette condition, on peut écarter davantage les fourneaux, ou bien, s'il faut plutôt les rapprocher encore, doit se résoudre par des épreuves qu'on feroit expressément à ce sujet. D'après les regles qu'ont laissées les Ecrivains sur l'art du Mineur, qui ne considéroient que des entonnoirs rectangulaires, il semble que le dernier soit nécessaire. Car ils rejettent les cas où

deux fourneaux M & N (Fig. 22), font diftanciés au double de la ligne de moindre réfiftance, en foutenant que le dos des terres MRN, ou AGB (Fig. 21), ne fera emporté que dans le cas que l'éloignement des deux fourneaux, tel que A & B, foit égal à la ligne de moindre réfiftance. Après quelque réflexion, on verra bientôt que tout dépend de la hauteur GI du triangle AGB, égale à la ligne de moindre réfiftance entiere dans la Fig. 22, & à la demi-ligne de moindre réfiftance dans la Fig. 21, & que cette détermination eft encore très-variable, puifqu'il peut fe trouver, entre le tout & fa moitié, plufieurs degrés remarquables. Cependant, fi l'on vouloit partir de la feconde fuppofition, la ligne de moindre réfiftance étant ici 0,7071 du rayon de la fphere d'activité, on en tireroit la regle, que les entonnoirs de deux fourneaux ne feront réunis dans un feul entonnoir, que lorfque, dans le triangle ABG, formé par les rayons externes AE & BD, en fe croifant, & par la diftance AB des fourneaux, la hauteur ne monte qu'à 0,3535 parties du rayon de la fphere d'activité.

§. 262.

En faifant des épreuves pour cet effet, qui,

à la vérité, pourroient s'étendre également fur les cas où la ligne de moindre réfiftance garde, avec le diametre de l'entonnoir, une proportion toute autre que la précédente, il ne s'agit que de fixer cette hauteur, une fois pour toutes, par rapport à des terreins de différentes efpeces. Car peu importe que la hauteur ait été déterminée, moyennant des mines d'un entonnoir profond ou évafé; le cas fera toujours applicable à tous les autres. Nous allons l'appliquer aux deux mines rapportées ci-devant (§. 259). Si l'on fuppofe que le terrein, où elles furent conftruites, étoit, des trois terreins qui fe trouvoient à la Fere, celui du milieu, le rayon des fpheres d'activité, que les charges de 600 livres ont produites, aura été de $21\frac{1}{2}$ pieds. Le rayon & la ligne de moindre réfiftance feront connoître le demi-diamêtre de l'entonnoir, ces trois lignes formant un triangle rectangle de la façon de DEB (Fig. 21), dont $BE = 10$, $BD = 21\frac{1}{2}$ & $DE = 19$ pieds. Qu'on cherche dans ce triangle la mefure de l'angle EDB, qui eft $= 27° 43'$, alors on a auffi l'angle DBA, qui lui eft égal; & ayant tiré la perpendiculaire GI, on aura fon complément ou l'angle $IGB = 62° 17'$. Préfentement on peut calculer GI fur une ligne

BI prise arbitrairement, ou sur la grandeur de 5 pieds que M. BELIDOR lui donne ici; & l'on pourra déterminer par la regle du §. 261, s'il faut y ajouter ou rabattre. Le calcul fait, on trouve GI = 2,688 pieds, ce qui est en-deçà de 3 pieds, quoique, selon §. 261, cette ligne auroit pu être $7\frac{1}{2}$ pieds passés; d'où il s'ensuit que les deux fourneaux n'auroient formé qu'un seul entonnoir, lors même qu'ils auroient été distants de 28 pieds l'un de l'autre; & il est à croire que M. BELIDOR les auroit bien tellement disposés, si cela eût été dans ses vues.

§. 263.

Si par la longueur marquée du rayon de la sphere d'activité, on détermine la grandeur de l'entonnoir, produit par ces mines, on trouve le diametre de chaque mine tel que DF = 38 pieds; & comme les deux rayons externes BD & AC, sont paralleles, on a CD = AB : donc CF = 38 + 10 = 48 pieds, ou 3 pieds au-delà de ce que l'épreuve a fait trouver. La raison pour laquelle que la largeur n'a été que de 27 au-lieu de 38 pieds, doit s'expliquer par la relation que ces mines ont eue avec d'autres, ce qui n'entre point ici dans notre plan. Nous avons encore à re-

marquer, que la deuxieme mine n'a allongé l'entonnoir que de 10 pieds : si donc l'objet principal eût été d'obtenir un entonnoir elliptique, on auroit pu réussir par un coffre oblong, sans prodiguer en poudre 600 livres de plus; mais comme l'objet étoit tout différent, on ne sauroit envisager l'épreuve sous ce point de vue. Il résulte encore de ce qui précede, que la sphere d'activité, produite par des coffres non-cubiques, & celle qui est produite par des mines qui jouent à la fois, sont applicables chacune à sa place, & que ni l'une ni l'autre ne sont à négliger qu'au préjudice de la Science pratique des mines.

§. 264.

En terminant la partie théorique de la Science des Mines, nous nous croyons obligés d'y ajouter les vœux que fit M. Borgsdorf, il y a environ un siecle, lorsqu'il donna au Public son *Art des Mines*. „ Si l'on „ peut employer plusieurs milliers de flo- „ rins, dit-il, pag. 15 de la Préface, tant „ aux épreuves par les mortiers, & autres „ armes, qu'à l'entretien des bouches à feu „ & des personnes attachées à leur service, „ il ne feroit pas moins expédient de don-

„ ner quelques milliers auſſi, pour faire des „ épreuves par les mines, afin qu'un nombre ſuffiſant de gens puſſent s'inſtruire & ſe „ mettre au fait de cet art; puiſqu'il eſt des cas „ où les mines l'emportent ſur les canons & les „ mortiers. " Aſſurément que ce ſouhait eſt plutôt relatif à la pratique qu'à la théorie; & même dans ce ſens, il n'eſt pas encore aujourd'hui tout-à-fait déplacé : témoin la déclaration de M. Le Febvre, qu'une armée des plus rénommées ne put fournir au commencement d'un ſiege important, qu'un ſeul Officier & bas-Officier des Mineurs : cependant, nous aimerions mieux entendre ce vœu par rapport à la Théorie des mines. En effet, ſi M. Belidor n'eût trouvé aucun appui dans ſes recherches infatigables, nous ſerions infiniment plus en-arriere, bien qu'à cette heure nous ne le ſommes encore que trop; car, moyennant ce qu'il nous a laiſſé, il n'eſt nullement poſſible de mettre tout dans ſon plein jour, & nous ſerons ſatisfaits, ſi l'on daigne avouer que nous avons mis à profit ce que nous en tenons, & que nous avons bien développé ce qu'il y a de plus eſſentiel, & ce qu'il importe d'être décidé par des épreuves ultérieures.

Appendice.

APPENDICE.

Observations sur les Ecrits qui traitent de l'Art du Mineur.

§. 1.

Si l'Art du Mineur, comme d'autres Arts, qui, à cause de leur importance, ont été traités sous la dénomination de Science, avoit produit des Ouvrages complets & classiques, les observations suivantes deviendroient superflues, ou du moins elles devroient être fort courtes. Mais comme la plupart des écrits qui y ont rapport, sans excepter les meilleurs, sont des Mémoires isolés ou dispersés dans de gros volumes, il importe de les rassembler ici, en les indiquant aux amateurs des Sciences militaires fondées sur les Mathématiques, nonobstant que les écrits sur la Théorie ont déja été cités dans le cours de notre Traité. Quant au plan à suivre, les deux parties capitales de l'Art du Mineur nous invitent à exposer en premier lieu les écrits qui se rapportent à la Théorie, & en-

ſuite ceux qui roulent ſur la conſtruction & l'application des mines; nous le ferons, en obſervant l'ordre chronologique autant qu'il ſera poſſible.

§. 2.

L'an 1686 fait époque, par rapport à l'Hiſtoire littéraire de l'Art du Mineur, & cela à plus d'un égard. Si l'on ne compte pas ce que quelques Ingénieurs & Artilleurs, tels que MM. SPEKLE & BIRINGUCCIO ont dit en paſſant dans leurs écrits, on peut dire que M. le Baron de BORGSDORF donna, en cette année, ſur l'Art du Mineur, conſidéré comme ſcience particuliere, la premiere inſtruction, „ à l'avantage des reſpec„ tables & dignes Allemands & de leurs aſ„ ſociés, afin de porter les mines à la mê„ me valeur où les canons & mortiers l'é„ toient déja ". Il eſt vrai que ſon inſtruction ne renferme rien de ce qui conſtitue une *Théorie ſur les Mines;* mais dans cette même année, M. de MEGRIGNI en poſa les fondements par des épreuves faites à Tournay, quoique ſa Relation, autant que nous ſavons, n'a point été imprimée. Apparemment que M. de MEGRIGNI ne ſe ſentit pas de vocation pour être Auteur, & que

les Ecrivains poſtérieurs qui en avoient connoiſſance, les regarderent comme des reliques trop ſacrées pour oſer les profaner par la publication. M. BELIDOR avoit attaché à ſa *Nouvelle Théorie des Mines*, la relation de ces épreuves contenues dans 13 paragraphes; mais comme elle étoit peu ſortable à cette Théorie, pour être également inférée dans les Mémoires de l'Académie de Paris, il la réſerva, de même que pluſieurs autres productions ſur l'Art du Mineur, pour ſon *Nouveau Cours du Génie*, qui auroit dû voir le jour après ſa mort, mais qui juſqu'aujourd'hui n'a point paru; de ſorte qu'on ne trouve cette relation, que jointe aux premieres copies de la *Nouvelle Théorie ſur la Science des Mines*, compoſée vers l'an 1730. Une telle copie, qui faiſoit partie de la collection littéraire de M. le Lieutenant-Général de FEIGNET, eſt entrée dans la Bibliotheque de cette Univerſité. De cette copie, en la comparant à d'autres, nous avons tiré le détail des épreuves de M. de MEGRIGNI, deſquelles il faudra toujours commencer à dater la Théorie des Mines.

§. 3.

Les recherches de M. DE VAUBAN ſont

contenues dans ses deux écrits sur les sieges; assez incomplétement dans le *Mémoire pour servir d'instruction dans la conduite des Sieges, & dans la Défense des Places, dressé par le Maréchal de Vauban, & présenté au Roi Louis XIV en* 1704, *La Haye*, 1740, *gr.* 4°.; mais plus amplement dans le grand Ouvrage *de l'Attaque & de la Défense des Places. La Haye*, 1737, *gr.* 4°. Il se trouve dans la seconde partie du dernier Ouvrage qui parut à La Haye, en 1742, un *Traité pratique des Mines*, qu'on a voulu attribuer à M. de Vauban, quoique ce soit évidemment une compilation qui n'a rien de commun avec ses autres productions. Ce Traité, qui fait partie de l'édition du même ouvrage in-8°. de 1744, se vend séparément, & se trouve inséré dans d'autres Ouvrages.

§. 4.

Il faut regarder les deux premiers Ouvrages, qui indubitablement partent de M. de Vauban lui-même, comme écrits avant 1707, puisqu'il mourut dans cette même année. Avant leur publication en Hollande, on n'en avoit que des copies, & l'on en trouve encore dans plusieurs bibliotheques.

Cependant on ne fut pas auſſi long-temps dans l'incertitude relativement aux principes que M. de Vauban avoit poſés dans ſes écrits ſur la Théorie des Mines, parce que M. Chevalier, autrefois Profeſſeur de l'Ecole d'Artillerie à Strasbourg, ne tarda point de les rédiger & de les prouver, à ce qu'il crut, dans une Diſſertation particuliere, qui ſe trouve parmi les Mémoires de l'Académie Françoiſe de l'an 1707, ſous le titre : *Des effets de la Poudre à canon, principalement dans les Mines.*

§. 5.

Une partie de la Théorie des Mines de M. de Valiere, c'eſt-à-dire celle qui regarde la figure de l'entonnoir d'une Mine, eſt contenue dans ſa *Diſſertation ſur les Mines & les avantages que l'on en peut tirer pour la défenſe des Places*, qui eſt ajoutée à la troiſieme Partie du Commentaire de M. de Folard ſur Polybe; mais le plus eſſentiel de cet écrit, roule ſur l'application des Mines. Nous ignorons l'endroit où la Table de cet Auteur a été imprimée pour la premiere fois; cependant on la trouve aujourd'hui dans preſque tous les Livres d'inſtruction.

§. 6.

M. Belidor a composé plusieurs pieces sur la Théorie des Mines; on en trouve trois dans son *Nouveau Cours de Mathématiques, Paris*, 1725, 4°. Il y est traité du Toisé de l'entonnoir d'une mine, de la conduite des galeries, & de la charge la plus convenable aux mines. Ces pieces ont été réimprimées dans ses *Œuvres diverses concernant l'Artillerie & le Génie. Amst.* 1764, 8°.; malgré que M. Belidor lui-même les a supprimées dans la nouvelle édition de ses *Mathématiques*, qu'il fit en 1757.

§. 7.

Dans notre Traité, on a déja insinué que M. Lehnberg a fait des réflexions importantes contre la derniere des trois pieces mentionnées. On les lit dans les écrits de l'Académie des Sciences de Suede, T. II, p. 316 de la Traduction Allemande de M. Kastner; où l'on trouve aussi le Mémoire de M. Meldercreuz sur l'ouverture de l'entonnoir de Mine.

§. 8.

Ces réflexions cependant auroient été su-

perflues, fi leur Auteur eût connu la *Nouvelle Théorie fur la Science des Mines* de M. BELIDOR, qui fait tomber de foi-même tout ce qu'il avoit antécédemment établi. Elle fut déja achevée en 1729, & dès-lors les copies n'en doivent point avoir été rares, du moins en France, où elle tomba d'abord entre plufieurs mains. Lorfque M. BELIDOR fut aggrégé, en 1756, comme Affocié à l'Académie des Sciences, il en remit le plus effentiel à cette Société, qui l'inféra dans les Mémoires pour cette année : nous difons le plus effentiel, puifqu'en effet ce ne font fimplement que les principes, & que plufieurs détails & anecdotes y manquent. Cette nouvelle Théorie a été réimprimée fur ce même pied, dans les *Œuvres diverfes*, *p.* 320, &c. & dans leur traduction Allemande. On verra, par des écrits plus récents fur la Théorie des Mines, dont nous allons rendre compte, qu'en général on n'a regardé ce Mémoire que comme une indication par rapport au globe de compreffion, & non pas comme une véritable Théorie des Mines; ce qu'il étoit en effet.

§. 9.

M. MULLER, Profeffeur de la Fortifica-

tion & de l'Artillerie à Woolwich, ayant refté à la Fere, apparemment dans le deffein d'étudier les Sciences militaires fous M. BELIDOR, a affifté, comme il avoue, aux épreuves de 1729, & a eu par conféquent occafion de prendre connoiffance de la Théorie que M. BELIDOR y a fondée; cependant il a fait fes efforts pour en donner une autre, dont l'effentiel a été rapporté dans notre Traité. Cette Théorie, ou *Treatife on Mines, deduced from a new Theory*, fait la troifieme Partie de l'Ouvrage intitulé : *Attac and defenfe of fortified Places*, dont la feconde édition parut à Londres en 1757.

§. 10.

Cette Théorie ayant quelques avantages qui la rendent fupérieure à toute autre, à la réferve de celle de M. BELIDOR, on en peut dire tout au plus, qu'elle eft fuperflue après celle-là ; mais il eft à regretter que le gros des Ecrivains fur l'Art du Mineur, ceux même qui ont écrit après 1756, rapportent des Théories anciennes & défectueufes. Ceci peut fe dire l'*Effai fur les Mines, par M. LE FEBVRE, Major au Corps des Ingénieurs du Roi de Pruffe, & Membre ordinaire*

de l'Académie des Sciences de Berlin. Breslau, 1774, *gr.* 8°. Cet écrit fut imprimé à Neisse, en 1764, aux fraix de l'Auteur; mais le Libraire Meyer, à Breslau, qui s'en rendit possesseur, comme de plusieurs autres Ouvrages, après la mort de l'Auteur, en changea la feuille du titre; de sorte que ce n'est pas une nouvelle édition, comme on pourroit le croire (*). La remarque du Professeur Scheibel, de la rareté des productions de M. Le Febvre, tombe par-là; mais il est de fait qu'elles étoient peu communes par le passé, tel que tous les Livres qui ne passent point entre les mains des Libraires.

Dans cet Ouvrage, le célebre Auteur traite, 1°. Des Contre-Mines, d'après M. de Valiere, p. 11-28. 2°. De la construction des Mines en général, p. 29-45. 3°. D'un nouveau projet de Contre-Mines, p. 46-63. 4°. Des Mines de l'Assiégeant, p. 64-83. 5°. En particulier du Globe de compression, p. 84-103. 6°. De la Charge ou de la Théorie des Mines, p. 104-111, &, en passant,

(*) On a actuellement une nouvelle édition de cet Ouvrage, qui fait partie du Tome second des *Œuvres completes de M. Le Febvre;* Maestricht, 1778, gr. 4°. *Note du Traducteur.*

de quelques autres matieres, qui, sans être moins importantes à l'Art du Mineur, ne sauroient en tout être rapportées ici. On ne disconviendra point que cet Ouvrage ne renferme ce qui jamais a été écrit de mieux sur la Science des Mines ; mais nous ne craignons pas de déroger aux mérites de l'Auteur, en déclarant très-misérable ce qui en constitue la Théorie. Aussi celui qui a pris la moindre teinture de cette Science, la trouvera telle; le pis est, que M. LE FEBVRE étoit justement l'homme le plus propre à pouvoir compenser la perte des productions de M. BELIDOR sur l'Art du Mineur; ce qu'il n'étoit guere possible de faire dans toutes les parties, à l'aide d'une Théorie défectueuse.

§. II.

Si M. LE FEBVRE ne demeure en reste que par rapport à la Théorie, le *Nouveau Traité des Mines, & des Contre-Mines, par M. PRUDHOMME, ancien Officier, Paris*, 1770, *gr.* 8°. le fait au contraire dans toute son étendue. L'on ne conçoit pas ce que l'Auteur d'une critique sur ce Livre, qui, selon M. le Colonel de NICOLAI, auroit paru à La Haye, eût pû y opposer, puisqu'on n'y rencontre aucune pen-

fée originale, à moins que l'on ne veuille prendre pour telle, la prétention que l'entonnoir forme un cône tronqué. Reste à observer que les planches, qui quelquefois sont la seule valeur des Ouvrages de cet ordre, sont ici on ne peut plus mal éxécutées.

§. 12.

Le contraire se trouve du moins dans l'Ouvrage suivant : *Principes fondamentaux de la construction des Places, avec des Réflexions propres à démontrer les perfections & imperfections de celles qui sont construites ; un nouveau Systême de Fortification sur toute espece de ligne ; & une Nouvelle Théorie des Mines. Londres, (Paris) 1773, 8°.* Cet écrit est attribué à un certain Vicomte de Flavigny ; & la Fortification d'après trois nouveaux Auteurs Italiens, d'Antoni, Rhana & Bossolino, y est exposée sous le vrai point de vue : mais quant à la Science des mines, qui fait la 3e. partie du Livre, p. 237-296, elle est si peu nouvelle, qu'il suffit de dire que les travaux de M. Belidor n'y sont pas mentionnées d'une seule syllabe; afin d'insinuer au Lecteur, avide d'une nouvelle théorie sur les mines, combien celle-là est surannée.

§. 13.

Les Auteurs qui traitent de l'Art du Mineur conjointement avec l'Artillerie, font tous en-arriere. L'Artillerie de M. de Villeneuve, qui fait le Tome 6, 7 & 8 de fon *Cours de la Science Militaire*, & celle de M. Le Blond, qui fe trouve au premier tome des *Eléments de la Guerre des Sieges*, parurent avant la publication de la Théorie de M. Belidor, & par-là leurs Auteurs font à excufer; mais dans la nouvelle édition toute refondue & augmentée de l'*Artillerie raifonnée par M. le Blond, Paris 1761, gr. 8°.*, où il traite des Mines, *p.* 297-375, la théorie de M. Belidor n'a point été affez mife à profit. Dans une Section du long Chapitre intitulé: *Nouvelles Obfervations & Expériences pour perfectionner le calcul des Mines*, il expofe à la vérité la premiere Théorie de M. Belidor, tirée de fon *Cours de Mathématique*; il rapporte l'Hiftorique de fa nouvelle Théorie; il s'étonne que les épreuves de Tournay & celles de la Fere offrent des réfultats différents, & il fe plaint beaucoup avec MM. du Lacq & Bigot de Morogues, que les Mineurs fe tiennent toujours aux premieres, comme fi les autres

n'euſſent point eu lieu : mais loin de propoſer la nouvelle Théorie, il en demeure-là, en faiſant eſpérer aux Lecteurs l'Ouvrage que M. Belidor avoit promis ſur l'Art du Mineur; & en attendant, il les renvoye à Verdun, où elle eſt enſeignée dans l'Ecole de Théorie des Mineurs.

§. 14.

M. Struensée, non plus que les autres, n'a point inferé la Nouvelle Théorie de M. Belidor dans ſes *Eléments d'Artillerie* (*Anfangs gründe der Artillerie*), qui parurent en 1760, c'eſt-à-dire quatre ans après la publication de cette Théorie, & il ſe contente d'en donner une, révoquée depuis 1757. Il a cependant bien fait de traiter enſuite la Nouvelle Théorie dans la 3ᵉ. partie de ſon *Architecture Militaire*, §. 249-258; mais c'eſt dommage qu'on y rencontre dans diverſes endroits, particuliérement au §. 253, des paſſages très-obſcurs, & qu'au §. 258, il fonde l'application de cette Théorie ſur une épreuve de la Fere, dont la réalité eſt encore à prouver. Du reſte, cet Ouvrage a plus contribué à la propagation de la vraie Théorie ſur les Mines, que tous ceux des Auteurs compatriotes de M. Belidor; témoin l'Ouvrage

cité de M. de Flavigny, & la Fortification de M. Trincano, *p.* 62, comparé à *p.* 396, qui en fourniſſent des épreuves fort récentes.

§. 15.

Voilà, ſinon tous les Ouvrages, du moins les principaux ſur la Théorie des Mines. Si l'on adopte celle de M. Belidor comme fondée ſur l'expérience, on peut, moyennant l'amplification que nous avons tâché d'en faire en ſon lieu, en déduire déja beaucoup, pour en tirer parti dans la pratique : cependant on ne diſconvient pas qu'il ne reſte toujours quelque choſe à deſirer, & que pour en décider, il faudra avoir recours à des épreuves itératives, qui rempliront leur objet, à ce que l'on eſpere, puiſque ce dont il s'agit a été ſoigneuſement analyſé.

§. 16.

La *Partie pratique* de l'Art du Mineur conſiſte dans la conſtruction des mines en général, & dans leur diſtribution pour l'attaque & la défenſe des Places. Tous les Livres d'inſtruction, ſur le premier point, ſont aſſez im-

parfaits, & ce qu'on y trouve eſt plus aſſorti au temps où l'on écrivoit qu'au nôtre. Ce que nous en connoiſſons ſe réduit aux écrits ſuivants: *Neu entdeckte practikable Minirkunſt über einen Haufen zu ſtürzen ſtarke Mauern, Wäll' und Paſteyen, um denen dazu beſtimmten Truppen einen Weg zu bahnen, in mächtige Feſtungen zu gelangen, ſelbige zu überwältigen. Neurembourg 1686, 8°.* C'eſt l'Ouvrage, déja cité, du Baron Borgsdorf, & ce fut un vieux & expérimenté Mineur, nommé J. J. Hefner, comme il témoigne dans la Préface, qui lui fournit l'occaſion de le compoſer. Il traite dans le premier Chapitre des moyens de porter les Mineurs à l'endroit de leur attache, en s'étendant ſur la méthode, autrefois en uſage, d'attaquer les Places; dans le ſecond, il traite de la conſtruction même des Mines. Comme il ſe croyoit perſuadé que tout l'Art du Mineur conſiſte dans un travail de bras, c'eſt à cela ſeul auſſi qu'il s'eſt borné dans ce Traité. Il débute par décrire les inſtruments du Mineur, & termine par faire mettre le feu à la mine; mais il ne néglige point d'inſtruire le Mineur, comment il doit ſe conduire ſelon les objets qu'on ſe propoſe par la conſtruction des mines, afin de ne point les manquer.

§. 17.

Après la science pratique des mines de M. Borgsdorf, en suivant l'ordre du temps, il faut ranger celle de M. de Vauban. Tout ce qui pour lors se mit en usage dans les Sieges par rapport aux mines, est rassemblé dans son *Traité de l'Attaque & de la Défense des Places.* C'est dommage que la méthode actuelle de faire les sieges, rende ces instructions en partie superflues, & en partie insuffisantes. Dans les Œuvres diverses de M. Belidor, se trouve un *Traité des Mines & Contre-Mines* en 3 Parties, dont la premiere n'est qu'un extrait de ce que M. de Vauban a donné sur cette matiere, en faisant voir l'estime qu'il lui portoit par rapport à la science des mines. Il ne laisse cependant pas de convenir que, de son temps, cette instruction ne suffisoit plus, & il ajoute dans la seconde Partie ce qu'il y avoit de nouveau.

§. 18.

Ce qu'on trouve de plus récent sur la construction des mines, est contenu dans l'*Essai sur les Mines* de M. Le Febvre, *p.* 29-45,

Si

Si l'on y joint ce qui se trouve de praticable dans les Auteurs que nous venons de citer, & ce qu'il y a encore de meilleur dans quelques autres écrits, sur-tout dans le *Journal du Camp de Compiegne de* 1739, *augmenté des épreuves des Mines faites en présence du Roi, par MM.* DE TURMEL & ANTONIAZZI, *Capitaines des Mineurs, rédigé par* LE ROUGE, *Paris*, 1761, 8°., on aura ensemble tout ce qu'on peut mettre par écrit sur une matiere entiérement de pratique.

§. 19.

Si donc les Auteurs n'ont pas fort cultivé la premiere moitié de la Science pratique du Mineur, savoir la construction des mines, c'est qu'il s'agit ici tellement d'un travail manuel, que les Ecrivains ne sauroient donner que des préceptes généraux. La seconde moitié, ou la distribution des mines à l'attaque & la défense des Places, ouvre une meilleure carriere; & plusieurs, en effet, s'y sont distingués avec grand succès.

§. 20.

Les *contre-mines* sont d'un âge fort reculé;

car nous avons prouvé, d'après GUICCIARDINI, qu'elles furent inventées environ au même temps que les mines. On s'en servit déja dans le fiecle où l'on éleva les ouvrages des Places fortes entiérement de maçonnerie, à la maniere Efpagnole ou Italienne, & pour lors les fouterreins étoient de facile application. On les perdit totalement de vue, pendant que la Fortification Hollandoife fe mit en vogue. Il eft vrai que, dans la Hollande même, on ne pouvoit guere s'en prévaloir, puifqu'en général l'eau y met obftacle; & hors de ce Pays, où cette méthode de fortifier fut fi univerfelle, qu'on la remarque encore à toutes les Places anciennes, on les crut peut-être impoffibles aux ouvrages en terre, quoique la profondeur du niveau de l'eau en demandât la conftruction. Du temps de MM. DE VAUBAN & COEHORN, on recommença de s'appercevoir de leurs avantages, & on les appliqua aux Places nouvellement conftruites. Les fouterreins de la Citadelle de Tournay, conftruits vers l'an 1680 par M. DE MEGRIGNI, & démolis en 1745, ont eu tant de célébrité, que prefque tous les Ecrivains fur les Mines, les ont pris directement pour modeles, & en ont fait dériver leurs maximes.

§. 21.

M. DE VALIERE devoit donc naturellement fixer l'attention générale, lorsque, dans la Dissertation alléguée §. 5, il montra comment on peut ordonner plusieurs fourneaux les uns par-dessus les autres, pour faire sauter successivement deux, trois, & plus de fois les logements de l'ennemi. Sans discuter si les assiégés, sous la direction d'un Ingénieur Européen, permettront jamais que cela se fasse, & sans faire réflexion si les galeries à différents étages, nécessaires pour communiquer aux fourneaux, n'emporteroient pas plus de fraix que ne vaudroit leur utilité encore incertaine, la plupart des Ecrivains qui l'ont suivi, se sont contentés de le copier aveuglément, prétendant qu'une pareille disposition porte l'Art des Contre-mines à sa derniere perfection.

§. 22.

Le Mémoire de M. DE VALIERE fut de nouveau publié, avec quelques pieces fugitives, sous le titre imposant de *Nouveau Système sur la maniere de défendre les Places par le moyen des Contre-mines, tiré des Mémoires*

de M. de Valière & de l'Orme. Franc-fort-sur-le-Mein, 1744. 4°. Mais le plus outré Panégyrifte de cette Méthode, comme de la Fortification fouterreine en général, fut M. d'Azin, dans le *Nouveau Syftême fur la maniere de défendre les Places par le moyen des Contre-mines, Ouvrage pofthume de M. D***. Paris*, 1731. 12., dont le Pere Castel étoit l'Editeur. Le même ton d'exagération domine dans prefque tous les écrits François de ce temps fur cette matiere.

§. 23.

Parut enfin M. Le Febvre, qui dévoila les inconvénients & l'impoffibilité prefque abfolue de ce fyftême. Il en propofe un autre à fa place, mais plus fimple & praticable, & il ne néglige point de faire voir la poffibilité de fon exécution. M. Struensée en donne très-bien l'analyfe dans la troifieme Partie de fon *Architecture militaire.*

§. 24.

Une nouvelle maniere de diftribuer les contre-mines parut en France, fous le titre de *Traité de la défenfe des Places par les Contre-*

mines. Paris, 1769. 8°. Apparemment qu'on y ignoroit encore la méthode de M. Le Febvre, de conftruire les contre-mines. Quoi qu'il en foit, on attribue cet Ouvrage à M. de Valiere fils, & il a occafionné plufieurs écrits polémiques.

§. 25.

Voilà ce que M. Belidor nous a laiffé fur le même fujet. La 3e. Partie de fon Traité, indiqué §. 17, roule fur les contre-mines; mais elle ne contient que des connoiffances générales. Sa méthode de diftribuer les contre-mines fous les ouvrages capitaux & fous le glacis, a été inférée dans l'*Artillerie raifonnée* de M. Le Blond, p. 369 — 373; avec permiffion de M. Belidor, fous ce titre: *Mémoire de M. Belidor fur les Mines à plufieurs étages.* Cet écrit a échappé de la captivité où plufieurs de fes autres productions furent deftinées après fa mort. Sa maniere de faire fauter les batteries ennemies fur le glacis, de forte que les Canons font jettés du côté de la Place, eft ajoutée à fa Nouvelle Théorie des Mines, dans les *Œuvres diverfes*, p. 363 — 370. Les copies qu'on en a fous le titre de *Difcours fur le nouveau Projet de Mine*

de M. DE BELIDOR, *exécuté à l'École de la Fere le 27 Septembre* 1739, font datées, la Fere, le 20 Janvier 1740; & la relation qu'on y trouve, femble plus authentique que celle des *Œuvres diverfes*. Enfin, il a projetté une maniere toute nouvelle de diftribuer les contre-mines, afin de pouvoir repouffer l'ennemi le plus long-temps poffible du pied du glacis, où d'ordinaire la défenfe des autres contre-mines commence, dans le *Traité de la Guerre fouterraine, relativement aux opérations faites à découvert dans la défenfe des Places par les Mines & l'Artillerie, fondé fur un grand nombre d'expériences*, lequel cependant n'a jamais été rendu public. Comme nous poffédons, en manufcrit, la partie où cette méthode fe trouve, nous ne manquerons pas d'en rapporter l'effentiel à fon lieu.

§. 26.

Ce font, autant que nous fachions, tous les Auteurs qui, dans des Mémoires particuliers, ont laiffé quelque chofe d'original fur les contre-mines. Indépendamment de ce qui s'en trouve encore dans de bons Traités de Fortification, par exemple, dans ceux de MM. STAHLSWARD, FLAVIGNI, & quel-

ques autres, il nous manque encore une distribution des contre-mines, fondée sur la Théorie de M. Belidor dans toute son étendue; & cependant la guerre souterraine ne sauroit être portée à sa perfection, uniquement que par son moyen.

§. 27.

L'attaque d'une Place par les mines n'a proprement lieu, que lorsqu'elle est garnie de contre-mines, & on les met principalement en usage à la prise du chemin-couvert. Autrefois on ne connut que deux manieres de le remporter; par assaut, ou par la sappe: mais aujourd'hui cela se fait encore moyennant les mines.

§. 28.

Le fondement de cette méthode se trouve en général dans la Théorie des mines, d'après M. Belidor, & particuliérement dans son globe de compression. Par son moyen, ou, comme parlent les Mineurs, moyennant une mine de beaucoup surchargée, on occasionne la destruction des contre-mines, du moins un tel ébranlement des terres vierges, que les mines qui pourroient jouer, de la

part de l'ennemi, perdent totalement leur effet. M. BELIDOR décrit ce procédé dans la *Relation des Epreuves sur les Mines, faites à Bisy dans le mois de Juin 1753, par ordre du Roi, avec l'usage qu'on peut en faire pour l'attaque des Places.* Cette Relation, jointe à sa Nouvelle Théorie, p. 370 — 391, contient, comme on voit, le détail d'une épreuve, qui tend principalement à constater la vraie Théorie des Mines. Aussi nous en avons déja fait usage dans la partie théorétique de notre Traité; cependant M. BELIDOR s'y explique assez amplement sur la construction d'une pareille mine, & donne une regle particuliere pour sa charge, qui est contraire à sa Théorie, en tant qu'elle n'est point susceptible d'une application générale.

§. 29.

Si la prise du chemin-couvert a été préparée moyennant le globe de compression, il y a deux méthodes pour l'achever : la premiere & la plus sûre, est qu'on tâche de passer de l'entonnoir du globe de compression dans les galeries des contre-mines de la Place ; d'en enlever le ciel, & de convertir ces galeries des assiégés, en tranchées ou sappes des assié-

geants. Cette invention de M. BELIDOR eſt détaillée dans la relation dont nous venons de faire mention.

§. 30.

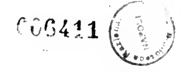
La ſeconde méthode pour ſuivre ce genre d'attaque, ſuppoſe que le terrein à l'entour du globe de compreſſion ait été meurtri, au point de n'avoir plus rien à craindre de la part des mines ennemies: & après qu'on s'eſt ſuffiſamment retranché dans l'entonnoir, on conſtruit de nouveau une mine plus avant, qui en partie endommagera les galeries ennemies plus éloignées, & qui en partie fournira un nouveau logement. On continue la même opération juſqu'à ce qu'on ſoit parvenu ſur la crête du glacis. M. LE FEBVRE donne cette méthode dans ſon *Eſſai*, à l'article de la *Maniere de marcher ſur une capitale contreminée*, *p.* 65-78.

§. 31.

Voilà, autant que nous ſachions, tous les matériaux exiſtants pour en compoſer une Science des Mines. Nous n'avons pas nommé le *Magaſin hiſtorique de l'Artillerie Françoiſe* de M. St. REMY, ni l'Ouvrage Anglois de

M. Mannigham, qui l'a copié, à en juger par le titre. La raiſon eſt, qu'on ne trouve rien d'original dans l'Ouvrage du premier ; ſoit par rapport à la théorie, ſoit par rapport à la pratique, & qu'apparemment il ne s'en trouve guere davantage dans celui du dernier que nous n'avons pas vu. Du reſte, s'il y a encore des Auteurs qui enſeignent quelque choſe d'intéreſſant, ſinguliérement par rapport à la partie pratique, & que nous aurions paſſés ſous ſilence, nous ſollicitons nos Lecteurs & nos Critiques de nous en prévenir ; ce que nous ſaurons reconnoître avec remerciement. Enfin, s'il y a des perſonnes en poſſeſſion de certains manuſcrits ſur la Science des mines, ſoit qu'ils contiennent leur propre expérience, ou le fruit d'autres Ecrivains, elles contribueront autant à l'avancement de la Science, qu'elles auront droit à notre gratitude, ſi elles daignent nous en faire part pour notre uſage.

F I N.



FAUTES ESSENTIELLES à CORRIGER.

PAge vij, *lig.* 15, inſtructions, *liſez* inſtitutions.

Pag. 118, *lig.* 20, deſordonnées, *liſez* des ordonnées.

Pag. 124, *lig.* 4, $\sqrt{\frac{25}{m} + m^2 - n}$, *liſez* $\sqrt{\frac{25}{m} + m^2 - m}$.

Pag. 166, *note*, *lig.* 25, ſa Hydrodynamique, *liſez* ſon Hydrodynamique.

Pag. 221, *lig.* 15, & de ſoulever, *liſez* de ſoulever.

Pag. 286, *lig.* 22, laquelle que, *liſez* laquelle.

Pag. 296, *lig.* 23, l'Eſſai, *liſez* de l'Eſſai.

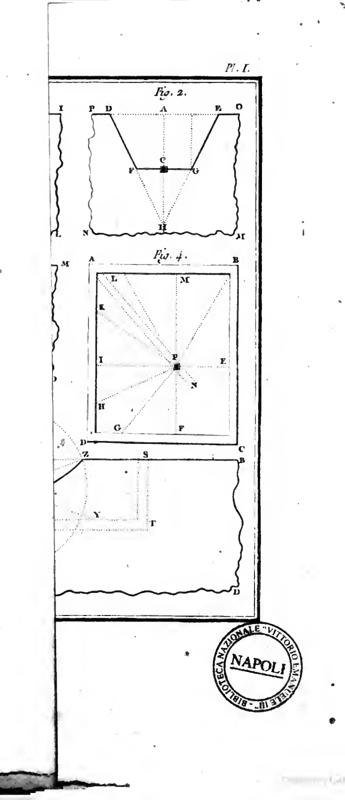
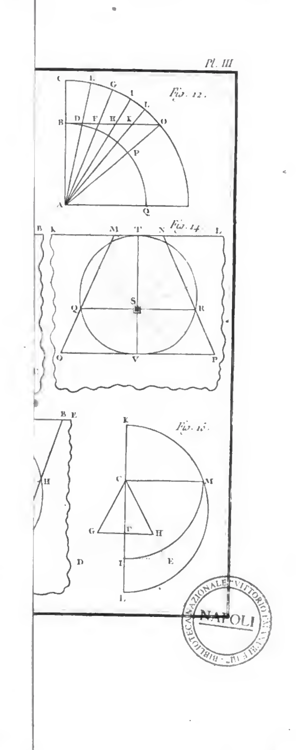

Pl. I.
Fig. 2.
P D A E O
C
F G
H
N M
Fig. 4.
A B
L M
K
I P E
N
H
G F
D C
Z S B
Y
T
D

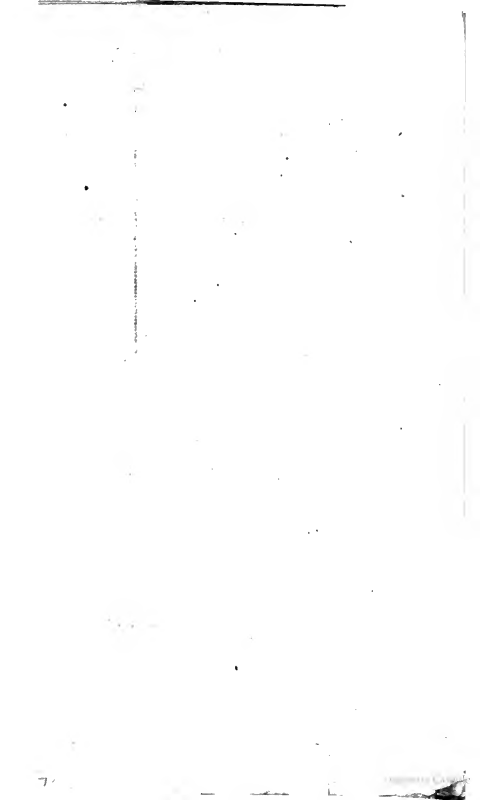
Fig. 7.

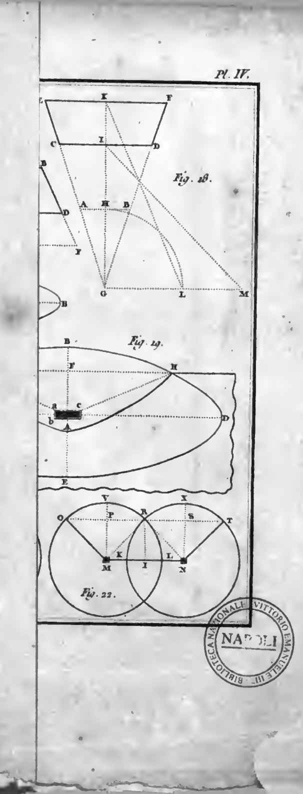
Fig. 8.

Fig. 10.




Fig. 12.
C
E
G
I
L
B
D
F
H
K
O
P
A
Q
Fig. 14.
K
M
T
N
L
Q
S
R
O
V
P
Fig. 15.
K
C
M
G
F
H
I
E
L
D




Pl. IV.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 22.
K
F
C
I
D
B
A
H
G
L
M
E
R
V
P
S
T
O
X
M
N